

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS Y MONTES

Máster en Ingeniería Agronómica



TRABAJO FIN DE MÁSTER

EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE ALPERUJO EN EL T.M. DE GUADALCÁZAR (CÓRDOBA)



AUTOR: Gabriel Delgado Leal

DIRECCIÓN DEL PROYECTO: Adolfo Peña Acevedo y M^a José Polo Gómez

Julio de 2016

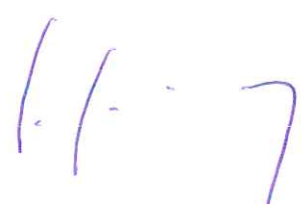



Anexo III

AUTORIZACIÓN PARA LA DEFENSA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Datos del alumno/a
DNI: 80163796 X
Apellidos y Nombre: Delgado Leal Gabriel
Máster: Ingeniería Agronómica

Datos del Trabajo	
Título del Trabajo	
EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE ALPERUJO EN EL T.M. DE GUADÁLCAZAR (CÓRDOBA)	
Convocatoria (indicar mes de defensa): Julio	Año: 2016

El director del Trabajo INFORMA FAVORABLEMENTE la defensa del mismo:	
Director/tutor:	
	
Fdo.: Adolfo Peña Acevedo	
Director/tutor:	
	
Fdo.: María José Polo Gómez	

*Este formulario, debidamente cumplimentado y firmado (con firma digital o en su defecto, con firma manuscrita y escaneo del documento), deberá ser entregado por el alumno en formato pdf en el mismo soporte digital, junto con el resto de archivos integrantes del trabajo.

Anexo II

INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Datos del alumno/a
DNI: 80163796 X
Apellidos y Nombre: Delgado Leal, Gabriel
Máster: Ingeniería Agronómica
Título del Trabajo: EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE ALPERUJO EN EL T.M. DE GUADÁLCAZAR (CÓRDOBA)

Datos del Director del Trabajo	
Apellidos y Nombre: Peña Acevedo Adolfo	
Departamento: Ingeniería Rural	
Teléfono:	EMAIL:

INFORME (a cumplimentar por el director del trabajo)

Utilícense tantas páginas como sean necesarias


El Trabajo Fin de Máster "EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE ALPERUJO EN EL T.M. DE GUADÁLCAZAR (CÓRDOBA)", ha sido realizado por D. Gabriel Delgado Leal, bajo nuestra dirección para la obtención del título de Máster en Ingeniería Agronómica, siendo un trabajo original e inédito y que reúne los requisitos necesarios para su exposición y defensa.

En primer lugar hemos de indicar que desde la propuesta del TFM, el alumno ha desarrollado adecuadamente el trabajo que fue previamente planificado. Ha ido cumpliendo satisfactoriamente con los hitos y entregas planificadas, y ha ido incorporando paulatinamente las indicaciones que le han sido sugeridas hasta llegar al documento final. Así ha ido evolucionando desde el planteamiento inicial general, hasta concretarlo en una solución muy detallada sobre un caso real vinculado a una Empresa y disfrutando de Beca del I Plan Galileo de la UCO, lo que confiere mayor mérito al trabajo realizado

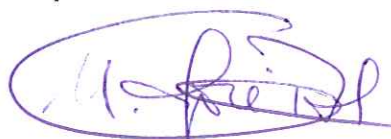
Todo ello evidencia una adecuada formación del alumno, que ha combinado eficazmente los conocimientos adquiridos durante su formación, con un carácter profesional del documento final que podría perfectamente competir en el mercado laboral, mostrando un alto nivel de actualización en el manejo de los conocimientos, técnicas y herramientas profesionales utilizadas.

Por todo ello la valoración global es muy favorable, esperando que el resultado de este trabajo contribuya en el desarrollo futuro del alumno y que la dedicación, el compromiso, el esfuerzo, el rigor y la ilusión con que Gabriel ha abordado este trabajo obtenga la perseguida recompensa y lo gratifique después del largo camino recorrido.

Los Directores del Trabajo



Fdo.: Adolfo Peña Acevedo



Fdo.: María José Polo Gómez



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría aprovechar este espacio para mostrar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han hecho posible que este Trabajo Fin de Máster sea hoy una realidad.

En primer lugar, quiero agradecer a mi director Adolfo Peña Acevedo el haberme ofrecido la realización de este trabajo, poniéndome en contacto con la empresa en la cual he realizado mis prácticas; lo que me permitió acceder a I Plan Galileo para la Innovación y la Transferencia de la UCO. Agradecerle también su dedicación, tiempo y esfuerzo para la realización de este trabajo y que éste fuese de utilidad para la empresa.

De igual forma quiero agradecer a mi codirectora María José Polo Gómez por haber querido participar en este trabajo, brindándome su ayuda, orientación y, en definitiva, permitiéndome seguir ampliando mis conocimientos en hidrología.

Doy las gracias también a De Campo, Ingeniería y Consultoría Agraria S.L. y en particular a los ingenieros de la misma: Belén de los Ríos, Ricardo López y Enrique Navas. Gracias por haberme permitido realizar las prácticas en Coto Bajo, y por haberme prestado en todo momento la atención y colaboración que he necesitado. Espero que mi TFM os sea de utilidad.

Mi agradecimiento también a Rafael Pimental y María José Pérez del grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología por aportar su granito de arena.

Por último, agradezco a la Universidad de Córdoba el haber puesto en marcha el Plan Galileo, el cual me ha permitido financiar mis prácticas; cuyo fruto es este Trabajo Fin de Máster.



RESUMEN

El presente trabajo nace con el propósito de identificar y cuantificar los problemas actualmente existentes en el funcionamiento de la planta de compostaje de Coto Bajo, con el objetivo de proponer a los gestores de la misma una serie de soluciones viables, técnica, económica y medioambientalmente.

La planta de Coto Bajo es una instalación de compostaje de alperujo de reciente construcción, que entró en funcionamiento en el año 2008. Se trata de una instalación con capacidad más que suficiente para el compostaje de todo el alperujo generado en una campaña por las dos almazaras que se encuentran en la finca donde se ubica. Dicha finca posee una extensión de más de 700 ha de olivar, sita en el término del municipio cordobés de Guadalquivir (Córdoba).

Los principales problemas que podrían lastrar la viabilidad en un futuro próximo de esta planta de compostaje están ligados a los residuos generados en la misma, tales como los lixiviados procedentes de las eras de compostaje, que suponen un potencial contaminante de suelo y agua en caso de un vertido por desbordamiento de las balsas que los almacenan. También la ubicación de la misma debe ser analizada por una cuestión ligada a la zona de policía de cauces, y revisar si dicha ubicación fue elegida según criterios técnicos objetivos.

Por último, destacar que este proyecto se desarrolla dentro del I Plan Propio Galileo para la Innovación y la Transferencia de la Universidad de Córdoba, consistente en la realización de cuatro meses de prácticas en empresa. Este trabajo se realizó principalmente durante las prácticas en la empresa De Campo, Ingeniería y Consultoría Agraria S.L., actual gestora de Coto Bajo.

PALABRAS CLAVE: Alperujo, planta de compostaje, compost, lixiviados, Coto Bajo.



ABSTRACT

This work's objectives are identifying and quantifying the existing problems that affect the current operation of the composting plant in Coto Bajo, Córdoba, to provide its managers with solutions that are technically, economically and environmentally feasible.

The plant of Coto Bajo is a compost system of “alperujo” which was recently built. This plant began to operate in 2008. The system has capacity large enough to treat the compost generated in a season by the two oil mills situated in the rural estate. The rural estate has an extension of approximately 700 ha of olive trees, and it is located in the municipality of Guadalcalzar (Córdoba).

The main problem that the compost plant will face in the near future is related to the generated wastes, as the leachates from the composting threshing floor, which are really pollutants for both soil and water if the raft overflows. The location of the raft itself is also of concern due to its proximity to the Police Zone of a neighbouring ephemeral riverbed.

This work is a study about the physical environment, the storage infrastructure, the composting process, the hydrology and the climatology of the place, to analyze the best management options that allow the protection of the environment in the composting process.

Finally, this project was carried out within the “I Plan Propio Galileo” for the Innovation and the Transferring of the University of Córdoba. The action consisted of carrying out a practical professional period during four months in De Campo, Ingeniería y Consultoría Agraria S.L, which is the present manager of Coto Bajo.

KEY WORDS: “Alperujo”, compost plant, leachates, “Coto Bajo”.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA	17
1.1.1. Sistemas de extracción	17
1.1.2. Residuos generados en las almazaras	18
1.2. EL COMPOSTAJE.....	19
1.2.1. Concepto	19
1.2.2. Sistemas de compostaje	20
1.2.3. Parámetros de seguimiento y etapas del proceso.	23
1.2.4. El compost como enmienda al suelo	27
1.3. EL COMPOSTAJE DE ALPERUJO	27
1.3.1. Calidad del compost.....	31
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	33
3. OBJETIVOS.....	38
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
4.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	41
4.1.1. Escala comarcal.....	41
4.1.1.1. Localización geográfica y orografía.	41
4.1.1.2. Climatología de la zona.	42
4.1.1.3. Geología y litología.....	43
4.1.1.4. Edafología, usos del suelo y entorno socioeconómico.	43
4.1.2. Escala de cuenca.	44
4.1.2.1. Localización, hidrología y fisiografía.....	44
4.1.2.2. Ocupación del suelo	49
4.1.2.3. Zona de policía	50
4.2. PLANTA DE COMPOSTAJE COTO BAJO.....	51
4.2.1. Almazaras.....	51
4.2.2. Descripción de la obra civil.	52
4.2.3. Maquinaria de la planta.	53
4.2.4. Proceso actual de producción de compost	53
4.2.4.1. Origen de los materiales	53



4.2.4.2. Caracterización química de cada elemento	54
4.2.4.3. Manejo actual	55
4.2.4.4. Nueva mezcla para el co-compostaje	57
4.3. MODELO DE MEZCLAS ÓPTIMAS.....	58
4.3.1. Base matemática del modelo	59
4.4. DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA.....	60
4.4.1. Balance de agua	61
4.4.2. Balance completo	63
4.5. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA	65
4.5.1. Localización de las estaciones de interés.....	65
4.5.2. El modelo WiMMed	67
4.5.3. Ampliación artificial de la serie de datos medidos de precipitación.....	69
4.5.4. Año de diseño	70
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
5.1. ZONA DE POLICÍA.....	73
5.2. REAJUSTE DEL PROCESO DE COMPOSTADO. ADECUACIÓN A LA SUPERFICIE ÚTIL.....	76
5.2.1. Diseño de la nueva mezcla para el co-compostaje. Comparación entre el volumen necesario y el volumen disponible.	77
5.2.2. Precipitación y ET₀ del año de diseño.	79
5.2.2.1. Precipitación (P)	79
5.2.2.2. Evapotranspiración potencial (ET₀).....	83
5.2.3. Hipótesis 1. Balance de agua.	85
5.2.3.1. Sistema 1 (era 1 y balsa 1).....	85
5.2.3.2. Sistema 2. Era 2 y balsa 2	87
5.2.4. Hipótesis 2. Balance completo.....	89
5.2.5. Soluciones propuestas para solventar el problema relativo al almacenamiento de los lixiviados.	96
5.2.5.1. Propuesta de manejo	96
5.2.5.2. Propuesta de techado de una de las eras.	99
5.2.5.2.1. El techado propuesto como alternativa	99
5.2.5.2.2. El techado como propuesta complementaria.	100
5.2.5.3. Propuesta de depuración de los lixiviados.....	102
6. CONCLUSIONES.....	104



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
8. ENLACES DE INTERÉS.....	114
9. ANEJOS.....	116



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las operaciones del proceso de elaboración del aceite de oliva con los sistemas de prensado y centrifugación de tres y dos fases. (Albuquerque et al., 2004).....	18
Figura 2. Estructura para la construcción de pilas estáticas con aireación pasiva (Solano et al., 2001).....	21
Figura 3. Evolución de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración (Laos, 2003 y Mustin 1987).	25
Figura 4. Localización del T.M. de Guadalcalzar en la provincia de Córdoba (Andalucía). El punto rojo indica la ubicación de Córdoba capital.....	41
Figura 5. Términos municipales que constituyen la comarca del Medio Guadalquivir, la cual se encuentra en la zona central de la provincia de Córdoba. La comarca no incluye el T.M. de Córdoba capital.	42
Figura 6. Parcela “El Gamo” donde se ubica la planta de compost de Coto Bajo (SIGPAC, 2016).....	45
Figura 7. Cuenca definida por el cauce innominado en la cual se encuentra la planta de compostaje de Coto Bajo. La cuenca se ha calculado a partir del MDE de 5x5 m de resolución espacial	46
Figura 8. Modelo Digital de elevaciones (MDE) de la cuenca del arroyo innominado con resolución espacial de 5 x 5 m.....	47
Figura 9. Mapa de pendientes de la cuenca del arroyo innominado calculado a partir del MDE de 5x5 m de resolución espacial.....	48
Figura 10. Error de ajuste de la cuenca definida por el cauce innominado con la cárcava en la que se ha transformado dicho cauce.	49
Figura 11. Usos del suelo de la cuenca según el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) en la cuenca definida por el cauce innominado.	50



Figura 12. Esquema sobre lo que sería la zona de policía de cauces según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986).....	51
Figura 13. Plano en planta de las instalaciones de la planta de compost de Coto Bajo.	52
Figura 14. Flujo actual de materiales en la planta de compostaje de Coto Bajo. Las líneas tipo flecha indican el flujo de lixiviados	56
Figura 15. Fotografía de la mezcla para el co-compostaje que se encuentra en la era/plataforma 1. Fotografía realizada en diciembre de 2015.	63
Figura 16. Localización de las estaciones del entorno y de las estaciones elegidas para este estudio	67
Figura 17. Ubicación del punto (píxel de 5x5 m) para el cual se ha calculado la P y ET ₀ que le corresponde teniendo en cuenta las 3 estaciones seleccionadas.	69
Figura 18. Error de cálculo del cauce a partir del Modelo Digital de Elevaciones de 5x5 m de resolución espacial	73
Figura 19. Demarcación del cauce y de su zona de policía según el RDPH.....	74
Figura 20. Superficie útil de las eras tras inhabilitar la parte coincidente con la zona de policía del cauce innominado.....	76
Figura 21. Precipitación anual (año hidrológico) en la serie de 14 años, calculada para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compostaje a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)	80
Figura 22. Datos de precipitación registrados en Córdoba-Aeropuerto frente a los calculados para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compost a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)	81
Figura 23. Precipitación por año hidrológico en la planta de compostaje del 01/09/1945 al 31/08/2015. Serie ampliada a partir de la de 14 años usando la ecuación que la correlaciona con los datos de la estación Córdoba-Aeropuerto.....	82
Figura 24. Precipitación de diseño (percentil 90%) distribuida a escala mensual y desviación estándar de la misma.	83



Figura 25. Evapotranspiración potencial anual en la serie de 14 años, es decir, la calculada para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compostaje a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)	84
Figura 26. ET ₀ del año de diseño distribuida a escala mensual y desviación estándar de la misma.....	85
Figura 27. Entradas y salidas de agua al sistema 1. La entrada se realiza a través de la era 1 y la balsa 1 mientras que la salida sólo se produce a través de la balsa 1.....	86
Figura 28. Volumen de agua acumulado en la balsa de lixiviados 1.	87
Figura 29. Entradas y salidas de agua al sistema 2. La entrada es a través de la era 2 y la balsa 2 mientras que la salida sólo se produce a través de la balsa 2.	88
Figura 30. Volumen de agua acumulado en la balsa de lixiviados 2.	88
Figura 31. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el volumen máximo de mezcla a compostar (100 %).	91
Figura 32. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 75% del volumen máximo de mezcla a compostar.....	92
Figura 33. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 50% del volumen máximo de mezcla a compostar.....	93
Figura 34. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 25% del volumen máximo de mezcla a compostar.....	94



Figura 35. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta no tiene nada de mezcla.	95
Figura 36. Balance de agua en la balsa 1 durante los meses en los que habría pilas en la misma (mayo, junio, julio y agosto), bajo las simplificaciones de la hipótesis 1.	97
Figura 37. Volumen de agua acumulada en cada una de las balsas para la hipótesis 1 con el manejo propuesto.	98
Figura 38. Volumen de agua acumulado en cada una de las balsas de lixiviados para la hipótesis 1 en el caso de que se lleve a cabo el manejo propuesto junto con el techado de la era 2.	101
Figura 39. Volumen de agua acumulado en cada una de las balsas de lixiviados para la hipótesis 1 en el caso de que se lleve a cabo el manejo propuesto junto con el techado del 90 % de la superficie de la era 2.	102



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de composts de alperujo y parámetros químicos seleccionados en los mismos con vistas a su uso agrícola y medioambiental.....	31
Tabla 2. Análisis químico realizado por laboratorio especializado a partir de alperujo generado en las almazaras durante la campaña 2015-2016.	54
Tabla 3. Valores medios de referencia de Humedad (%), Materia orgánica (%), Carbono (%), Nitrógeno (%), relación Carbono/Nitrógeno (%) y Densidad Aparente en materia primas para el co-compostaje de subproductos de almazara.	55
Tabla 4. Urea fertilizante. Fuente: Datos medios obtenidos de catálogos comerciales.	57
Tabla 5. Superficie útil en las eras tras descontar la parte incluida en la zona de policía del cauce innominado según establece el RDPH.....	74
Tabla 6. Mezcla para el co-compostaje diseñada en base al modelo desarrollado por la Universidad de Cornell (Richard y Trautman, 1996) para 7.000.000 kg de producción anual de alperujo.....	78



1. INTRODUCCIÓN



Las materias primas obtenidas en el sector primario, en términos generales, se transforman en las industrias agroalimentarias mediante una serie de procesos industriales que la convierten en un producto alimentario preparado para su salida inmediata al mercado y su posterior consumo. Los procesos industriales varían en función del tipo de industria y de las características de la materia prima y el producto final que se desee obtener (Seoáñez, 2002). Dichos procesos industriales generan residuos, entendiendo por estos a aquel material o materiales que no son el producto primario del proceso, es decir, que no se han producido con vistas a su comercialización en el mercado y que no pueden ser utilizados por quién los generó para los fines propios de la producción, transformación o consumo, y que, por ello, deben ser desechados/eliminados (UN - *United Nations*, 1997; OECD, 2003). Según lo anterior, se puede afirmar que los residuos carecen de valor económico a priori y además, en múltiples ocasiones supone un coste su eliminación, ya que es necesario proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos negativos derivados de los residuos.

Centrándose más en el caso que genera este trabajo, ha de tenerse en cuenta que en general, todos los subproductos o residuos de origen vegetal que se generan en las industrias agroalimentarias, pueden potencialmente originar problemas medioambientales y de gestión correcta de los mismos, representando además una pérdida de nutrientes y de biomasa durante el procesado industrial que podrían ser empleados para otros usos (Laufenberg *et al.*, 2003). La contaminación que podrían provocar los efluentes residuales de origen agroindustrial puede ser según (Seoáñez, 2002) tanto a nivel de las aguas superficiales (ríos, embalses, lagos y aguas marinas) como a nivel de la capa freática (aguas subterráneas) llegando incluso a poder provocar desequilibrios en los ecosistemas. Por todo ello, existe un gran interés desde hace algunos años por encontrar técnicas de tratamiento o transformación de dichos residuos que permitan transformar los subproductos de las industrias agroalimentarias en un producto útil, con valor añadido, que pueda comercializarse en el mercado obteniendo un beneficio adicional para el sistema productivo.



1.1. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE OLIVA

Cuando se lleva a cabo la campaña de recolección de la aceituna, los agricultores se dirigen a su almazara de referencia para entregar en ella su producción. En cuanto la aceituna entra en la almazara, se clasifica y se limpia para eliminar hojas, ramas y otras impurezas que se hayan mezcladas con el fruto. Tras esto, se prepara la pasta mediante la molienda, que libera el aceite de la pulpa, y posteriormente se bate, rompiendo así la emulsión aceite-agua y reuniendo las gotas de aceite obtenidas. Una vez generada la masa, se separa la fase líquida de la fase sólida, utilizándose para ello dos procedimientos: presión o centrifugación; metodologías en las que se basan los sistemas más tradicionales y los más novedosos de extracción de aceite en las almazaras (Cegarra y Paredes, 2008). En función del sistema de extracción del aceite del aceite de oliva, los residuos generados serán unos u otros (Figura 1):

1.1.1. Sistemas de extracción

- Sistema discontinuo:

Se trata del sistema tradicional de extracción de aceite de oliva, el cual se basa en el empleo de una serie de prensas hidráulicas que trabajan en discontinuo. Cuando se prensa la aceituna se obtienen dos tipos de residuos: el orujo (residuo sólido) y el alpechín (fracción líquida).

- Sistemas de centrifugación en continuo:

La separación por centrifugación en sistema continuo consiste en inyectar la masa batida directamente a una centrífuga o decantador (“decanter”) horizontal, donde se separan sus distintas fracciones por diferencias de densidad (Cegara y Paredes, 2008). En función del número de salidas que tenga la centrífuga se puede distinguir: sistema de tres fases, que separa el aceite originando dos tipos de subproductos, el de naturaleza sólida que recibe el nombre de orujo y el líquido que recibe el nombre de alpechín, y el de dos fases, del que se obtiene el aceite originando un único subproducto, el alperujo (mezcla del orujo con las soluciones acuosas).

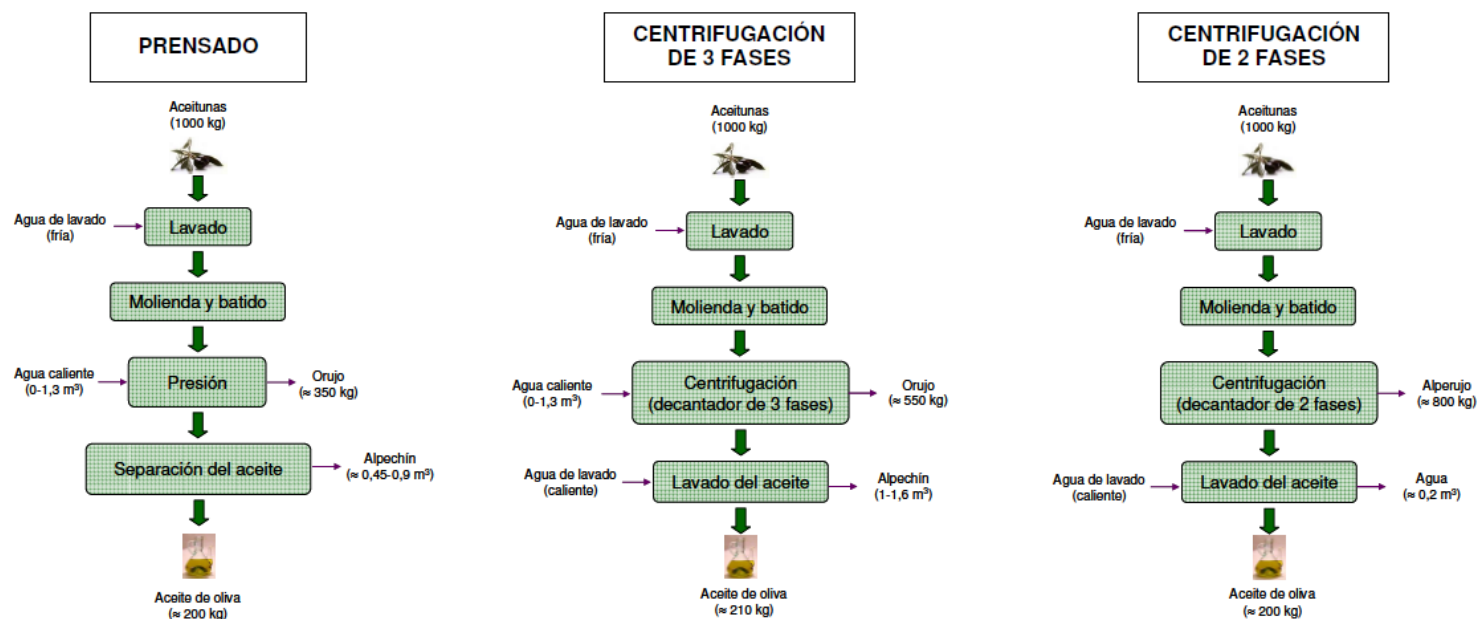


Figura 1. Esquema de las operaciones del proceso de elaboración del aceite de oliva con los sistemas de prensaado y centrifugación de tres y dos fases. (Alburquerque et al., 2004)

En la actualidad, el 90% de las almazaras españolas produce aceite de oliva mediante el sistema de centrifugación de dos fases (Borja et al., 2005).

1.1.2. Residuos generados en las almazaras

En función del sistema de extracción del aceite que se trate, los subproductos o residuos generados van a tener unas características físico-químicas distintas y, por ello, reciben diferentes denominaciones:

- **Alpechín:** El alpechín es el efluente líquido originado por la extracción del aceite de oliva por prensaado o por el sistema de centrifugación de tres fases, que se compone de las aguas de vegetación del fruto y el agua utilizada en las distintas etapas de elaboración del aceite, tales como la que se consume al acondicionar el fruto o durante la molienda, batido y centrifugación, y en la limpieza de las instalaciones y equipos (Cegarra y Paredes, 2008; Roig et al., 2006).
- **Orujo:** El orujo es la fracción sólida que se obtiene, al igual que en el caso del alpechín, de la extracción del aceite de oliva por prensaado o por el



sistema de centrifugación de tres fases. El orujo se compone de los huesos de las aceitunas molturadas, piel, pulpa, agua y restos de aceite. A partir del mismo, mediante el tratamiento con disolventes u otros procedimientos físicos, se obtiene el aceite de orujo de oliva y queda como residuo lo que se conoce como orujo agotado u orujillo (Hachicha *et al.*, 2008).

- **Alperujo:** El alperujo es el subproducto que se obtiene de la extracción del aceite de oliva por el sistema de centrifugación dos fases. Su consistencia es semisólida, a diferencia de los dos anteriores; caracterizándose por su elevada humedad y alto contenido en materia orgánica (superior al 90 % en términos medios).

Además de los comentados anteriormente, en la almazara se generan también otros residuos tales como hojas y pequeñas ramas que llegan mezcladas con la aceituna a la zona de recepción de la almazara. Sus cantidades varían mucho en función del sistema de recogida de la aceituna.

1.2. EL COMPOSTAJE

La aplicación directa al suelo de los residuos orgánicos generados en las almazaras, ocasiona una serie de inconvenientes tales como la inmovilización del nitrógeno, deficiencia de oxígeno, incremento excesivo de la temperatura a nivel de la rizosfera y fitotoxicidad (Ortega *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 1997; Khalil *et al.*, 2008). Por ello, es necesario optar por algún método de adecuación de los residuos orgánicos que permita modificar las características químicas de los mismos, para posteriormente aplicarlos al suelo con fines agrícolas. Por ello, lo ideal es usar el alperujo tras ser compostado (Ordóñez, 1998).

1.2.1. Concepto

En términos generales, el compostaje puede definirse como un proceso a través del cual los residuos de diversos orígenes, con un elevado contenido en materia orgánica, se transforman en otro producto que puede adicionarse al suelo como sustancia orgánica útil, rica en “humus” y de características “estables”. Se obtiene por degradación biológica, en condiciones aerobias y con la microbiota endógena compuesta principalmente por bacterias y hongos, dando como subproductos CO₂, vapor de agua y calor.



El compostaje es, por tanto, una técnica mediante la cual se logra estabilizar e higienizar la materia orgánica procedente de los residuos orgánicos, facilitando y permitiendo así su reintroducción en los ciclos productivos (Soliva, 2001). El resultado es un producto inocuo, estable y maduro denominado compost, que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas tras su aplicación al suelo (Soliva, 2001; Soliva *et al.*, 2008).

Desde un punto de vista más técnico, la definición más ampliamente aceptada para el proceso de compostaje es “la descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos bajo condiciones controladas” (Saña y Soliva, 1987; Climent *et al.*, 1996; Abad y Puchades, 2002; Soliva *et al.*, 2008). Una definición reciente, incluida en el Informe Técnico de la Comisión Europea “*Working document for end-of-waste criteria on biodegradable waste subject to biological treatment*”, describe el compost como “el material sólido higienizado y estabilizado que se obtiene mediante compostaje, entendiéndose éste como el proceso de descomposición controlada de materiales biodegradables bajo condiciones dirigidas, predominantemente aerobias, que permiten el incremento de la temperatura hasta niveles adecuados para las bacterias termófilas como resultado del calor generado biológicamente” (Institute for Prospective Technological Studies -IPTS, 2011).

Se trata de un proceso dinámico, biológico aerobio y parcialmente termófilo, que requiere materia orgánica, una población microbiana inicial y condiciones óptimas para el desarrollo de esta. Ahí radica la importancia de tener el proceso lo más controlado posible, ya que permitiría alcanzar una alta eficiencia, minimizar las emisiones y pérdidas de nutrientes y, por último, obtener un producto final de características conocidas y apropiadas para el uso al que está destinado (Soliva, 2001; Soliva *et al.*, 2008).

1.2.2. Sistemas de compostaje

La clasificación más comúnmente empleada para identificar los distintos sistemas de producción de compost es la que se realiza en función del aislamiento o contacto de la mezcla a compostar con el exterior, distinguiéndose entonces los sistemas abiertos, semi-cerrados y cerrados:



- **Sistemas abiertos:** Los residuos orgánicos se apilan al aire libre. Dentro de esta modalidad puede distinguirse en función de la disposición del material:

-En pilas o montones estáticos (*windrow*) con aireación pasiva:

La aireación se realiza por convección natural de modo que para favorecer la ventilación de la pila se emplean estructuras como la que se puede observar en la Figura 2. Dicha disposición favorece el flujo de la masa de aire desde la parte inferior hacia las zonas más superiores de la pila.

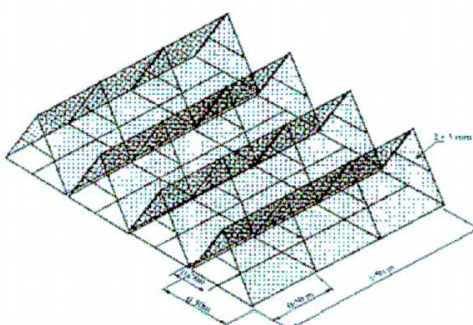


Figura 2. Estructura para la construcción de pilas estáticas con aireación pasiva (Solano et al., 2001)

-Pilas o montones dinámicos (*windrow*) con volteo: El material se dispone en pilas largas cuya altura oscila entre los 2 y 4 m, las cuales pueden estar cubiertas o no. En cualquiera de los casos, la aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos cuya frecuencia dependerá principalmente del contenido de humedad. En este tipo de sistemas el tamaño de la pila es un factor clave para que se produzca una adecuada aireación de la misma (Álvarez, 2006).

Estos volteos se realizan con varios fines: control del olor, mayor velocidad de transformación y control de insectos.

-Pilas estáticas aireadas por insuflación: Se trata de una metodología en la que las pilas permanecen estáticas durante el proceso de compostaje, y el aire es introducido a través de un sistema situado en el suelo bajo la pila. Una de las ventajas de este sistema es que se elimina la posibilidad de que se den condiciones anaerobias, dado que está asegurado



un volumen constante de entrada de aire que puede regularse por controladores en base a las necesidades de la masa (Álvarez, 2006).

- **Sistemas semicerrados:** En estos el conjunto de operaciones se realiza en una nave cubierta y cerrada, que dispone de un sistema de extracción de gases mediante tuberías.

El modelo más común es el de trincheras o calles, entre muretes longitudinales, que suelen estar provistos de sistemas de tratamiento de las emisiones gaseosas (García, 2011).

- **Sistemas cerrados:** Son aquellos en los que se emplean reactores, por tanto, este tipo de sistemas se emplean cuando se requieren tasas elevadas de transformación y en condiciones muy controladas. El tiempo de proceso se reduce muy significativamente, pero tiene como contrapartida que los procesos son más complejos y las instalaciones son más costosas de construir, operar y mantener. Los sistemas cerrados normalmente están provistos de un sistema de agitación que permita una aireación y homogenización de la masa, funcionan tipo reactor. Este tipo de sistemas son más adecuados para la realización de mezclas complejas con algún tipo de dificultad como es el caso de la transformación de lodos, aguas residuales o bicompost. Se clasifican en reactores de flujo vertical y reactores de flujo horizontal.

Los sistemas cerrados necesitan sistemas de aireación, riego, estanqueidad y control más complejo, y requieren, por tanto, mayor inversión inicial; pero por otro lado tienen como ventajas que reducen los posibles impactos medioambientales, permiten un mayor control del proceso, los lixiviados y malos olores, y necesitan menos espacio y producen un compost más homogéneo (Soliva, 2001).



1.2.3. Parámetros de seguimiento y etapas del proceso.

Previamente al inicio del compostaje hay que preparar el sustrato a compostar, que en algunos casos requerirá del aporte adicional de otros elementos, en cuyo caso hablaremos de co-compostaje. La mezcla inicial tiene que reunir dos características que son fundamentales para la optimización del proceso: humedad y relación C/N óptimas.

La humedad óptima para el crecimiento microbiano se encuentra entre el 50-70 % disminuyendo la actividad biológica bruscamente cuando la humedad está por debajo del 30 % (Gray *et al.*, 1971). Cuando la humedad está por encima del 70% el agua desplaza en exceso al oxígeno contenido en los poros de la mezcla (material poroso), provocando una reducción de la transferencia de oxígeno que acaba desencadenando un proceso de anaerobiosis. Esto provoca la proliferación de malos olores y la ralentización del proceso (Poincelot, 1974). La desviación del intervalo de humedad óptimo durante el proceso puede corregirse incrementando la aireación (reduce la humedad) o aportando agua mediante riegos de la mezcla.

El otro parámetro de indiscutible importancia y probablemente el más utilizado para el estudio de la evolución del proceso de compostaje es la relación C/N (Leege, 1996). Su importancia se debe a que el carbono y el nitrógeno son los dos elementos más importantes que requieren los microorganismos que descomponen la materia orgánica. Entrando más en el detalle, el carbono constituye una fuente de energía y conforma en torno al 50% de las células microbianas de la masa. El nitrógeno es el componente decisivo de las proteínas, de modo que cuando hay poco nitrógeno, la población de microorganismos no crece a su tamaño óptimo y el proceso de compostaje se ralentiza. Pero, al igual que en otros muchos procesos, el exceso también causa problemas porque permite un crecimiento microbiano rápido que a priori aceleraría la descomposición, pero puede generar graves problemas de olores al disminuir el oxígeno y ocasionar condiciones anaerobias.

En términos generales se considera que los microorganismos utilizan 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno consumido, por lo que se ha establecido un intervalo óptimo de este parámetro para los materiales (mezclas) de 25 a 35 (Jhorar *et al.*, 1991).

Para la mayor parte de las materias primas, se considera que una relación C/N (en peso) mantendrá estos elementos en un cierto equilibrio. De modo que, cuando



intervienen varias materias primas a compostar (co-compostaje) tiene que existir como objetivo el combinar todas ellas para cumplir con los criterios de humedad y relación C/N óptimos, tal y como se ha comentado con anterioridad

En cuanto a las distintas etapas que tienen lugar durante el proceso del compostaje, la temperatura es el parámetro principal que nos permite distinguirlas. La variación de la temperatura y la generación de calor viene dada por la actividad metabólica de los microorganismos encargados de atacar la materia orgánica, así como por distintos procesos de transferencia de calor que se dan durante el proceso (Ordóñez *et al.*, 2004).

En el proceso de compostaje se pueden distinguir las siguientes fases (Álvarez, 2006) (Figura 3):

- **Preparación:** El primer paso para compostar consiste en la elaboración de la mezcla y el acondicionamiento de los materiales de partida, para regular su humedad, el tamaño de las partículas, eliminar los elementos no transformables y ajustar los nutrientes para lograr una buena relación C/N.
- **Fase mesofílica:** En dicha fase el patrón de temperaturas va desde la temperatura ambiente hasta temperaturas inferiores a 40 °C. Durante esta fase se produce la degradación de los compuestos más solubles, lo cual provoca una mayor liberación de calor que favorece el crecimiento de los organismos termofílicos en detrimento de los mesofílicos.
- **Fase termofílica:** En esta fase las temperaturas van de 40°C a 70°C aproximadamente. Esta fase es de una indiscutible importancia, ya que en ella es donde se produce una mayor tasa de degradación de la materia orgánica y además, es la que permite la higienización la masa (inhibición de patógenos y semillas de malas hierbas). Según la *Environmental Protection Agency* de EE.UU., un periodo de 4 días con una temperatura mayor o igual a 40°C o un periodo de al menos 5 horas con temperatura superior a los 55°C sería suficiente.



- **Fase mesófila o enfriamiento:** Al finalizar la fase termofílica, las pérdidas de calor son superiores al generado por la actividad microbiana, dando paso a una maduración y estabilización de la materia orgánica a temperatura ambiente.
- **Maduración:** Se estabiliza y polimeriza la materia orgánica a temperatura ambiente, descendiendo el consumo de oxígeno y desaparece la fitotoxicidad.
- **Afino:** En esta fase se mejora la granulometría, regulando la humedad y eliminando el material no transformado. Se realizan análisis y controles de calidad del producto.

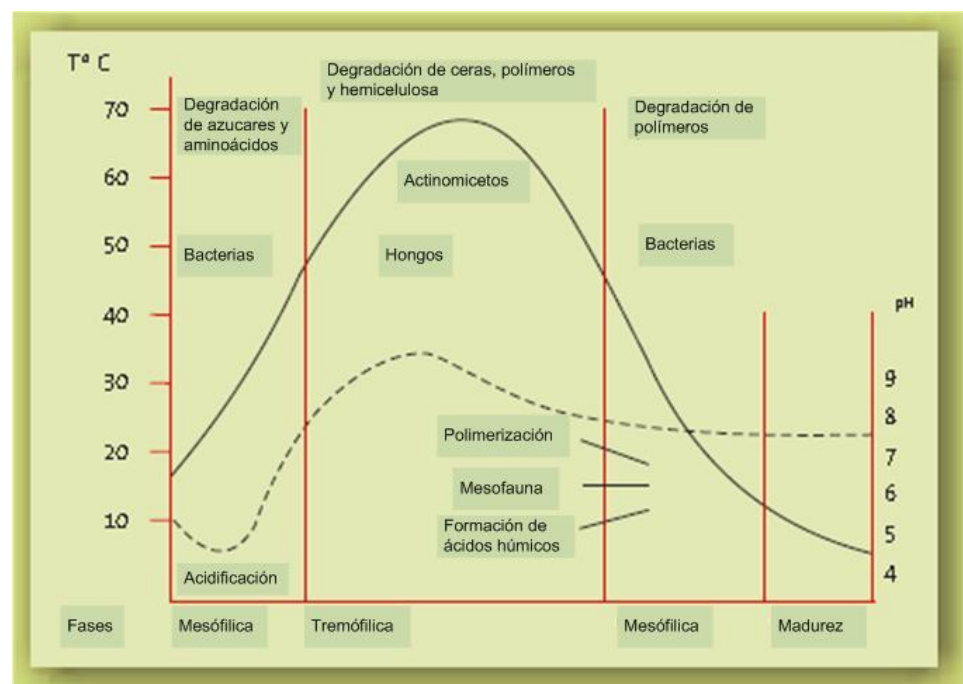


Figura 3. Evolución de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración (Laos, 2003 y Mustin 1987).

El patrón teórico de temperatura (Figura 3) es el que la mezcla a compostar sigue en todos los casos, pero los valores absolutos de temperaturas que se alcanzan en cada fase, van a depender de características intrínsecas de la propia masa. Parámetros de la



misma como son su tamaño, humedad y aireación, composición de la materia orgánica y cantidad de nitrógeno durante la maduración, así como la temperatura exterior, van a ser clave. Además, el patrón de temperaturas también se va a ver afectado por la disponibilidad de nutrientes en la pila y la presencia en mayor o menor cantidad de sustancias inhibidoras del crecimiento microbiano tales como los polifenoles.

La humedad de la pila influye también en la temperatura de la misma porque genera un descenso de la conductividad térmica y del desarrollo de la actividad de los microorganismos. El pH disminuye al inicio (Figura 3) debido a la liberación de los ácidos orgánicos, la producción de CO₂ o debido a un proceso anaerobio como consecuencia de una falta de aireación de la pila (Mustin, 1987; Haug, 1993; Van Ginkel, 1996; Laos, 2003.)

La porosidad es también un parámetro fundamental del compostaje, ya que revierte en la aireación y concentración de oxígeno que pueda haber en la pila para que los microorganismos puedan realizar su función degradante. El volumen de poros de la pila estará ocupado por la fase gaseosa y el agua, siendo de gran importancia la existencia de una adecuada relación entre estas, de modo que la actividad de los microorganismos no se vea comprometida por la falta de humedad ni por una baja concentración de oxígeno.

Desde el punto de vista químico, la relación carbono/nitrógeno (C/N) es el parámetro más importante durante el proceso de madurado, ya que tanto carbono como nitrógeno son los elementos que más consumen los microorganismos. Numerosos autores (Trautmann y Olinciw, 1996), recomiendan que la relación C/N de la mezcla se sitúe en torno al 30 %, ya que valores por debajo aumentan el riesgo de que se produzcan pérdidas por volatilización de nitrógeno y por encima de 30 puede que el nitrógeno se consuma antes de que el carbono se haya degradado, o en el mejor de los casos, que la maduración se vea reducida.

La fase del madurado del compost tiene que producirse en condiciones aerobias, y para ello es necesario que el oxígeno de la pila supere, al menos, el 5%. Mantener estas condiciones es de gran importancia principalmente en los sistemas estáticos, ya que hay que favorecer la aireación por convección y difusión natural de la masa a madurar. Dicho



oxígeno es empleado por los microorganismos para obtener energía mediante la oxidación de la materia orgánica.

1.2.4. El compost como enmienda al suelo

El principal beneficio que el compost aporta al suelo es mejorar el contenido en humus del mismo. Esto es muy importante puesto que al cultivar un suelo se produce una disminución progresiva del nivel de humus del suelo, lo que acarrea una disminución de la fertilidad, que se manifiesta en una menor producción, aceleración de los procesos erosivos y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Bauer y Black, 1994).

La importancia del compost se manifiesta con mayor intensidad en el marco de la Agricultura Ecológica, siendo su uso fundamental como enmienda o abono orgánico, como extracto acuoso, o como sustrato de cultivo (en horticultura).

1.3. EL COMPOSTAJE DE ALPERUJO

En los últimos 15-20 años, se han realizado numerosos estudios sobre la aplicación directa del alperujo al suelo debido a su alta concentración en potasio, su bajo coste y la posibilidad de su aplicación en áreas cercanas a las almazaras, llegando así a reducirse muy notablemente o incluso a eliminarse los costes de su transporte. En cambio, a pesar de sus aparentes potencialidades, numerosos estudios han cuestionado la validez de su aplicación directa en el suelo. Algunos estudios señalan que la aplicación directa del alperujo al suelo provoca desequilibrios nutricionales en el mismo, ya que modifica el ciclo del nitrógeno debido a su elevada relación C/N (Thompson y Nogales, 1999). Esto puede ocasionar una reacción de demanda de nitrógeno al cultivo que supuestamente va a fertilizar, generando un escenario bioquímico que recibe el nombre de “hambre de nitrógeno”. Por ello, hace necesaria la incorporación de fertilizantes nitrogenados adicionales para la modificación de la dinámica del nitrógeno tras su aplicación (Ordóñez *et al.*, 1999). El aporte de alperujo fresco, además de afectar al ciclo de N, incrementa el contenido en potasio, carbono orgánico, fósforo asimilable, nitrógeno orgánico, CE y pH del suelo (Romero *et al.*, 1998). Además, los altos niveles de fenoles que contienen los alperujos, pueden originar síntomas de fitotoxicidad en los cultivos si se aplican sin una descomposición preliminar (Aranda *et al.*, 2002).



En cuanto al manejo, la distribución de alperujo fresco en el suelo es difícil por su alto contenido en humedad, lo cual hace necesario disponer de maquinaria específica. Por lo tanto, debido a que el alperujo modifica las propiedades físico-químicas del suelo, no es recomendable la aplicación directa del alperujo al mismo (Canet *et al.*, 2008).

Una potente alternativa a la hora de gestionar el alperujo generado por el sistema de 2 fases de extracción del aceite de oliva (el más habitual en la actualidad), es el compostaje de dicho residuo. Dicho proceso, en este caso particular, presenta algunas dificultades que le son propias, relacionadas principalmente con:

- Elevado contenido en lignina
- Alto valor de su relación C/N → Debido a su bajo contenido en N.
- Efecto antimicrobiano de algunos de sus componentes → Es el caso de los polifenoles y lípidos, entre otros.
- Consistencia semisólida → Lo cual limita la difusión del oxígeno (fundamental para el proceso aerobio de la biodegradación de la materia orgánica).
- Alto contenido en proteínas → Pero con baja disponibilidad para el crecimiento inicial de los microorganismos, ya que estas se encuentran asociadas a la fracción lignocelulósica (Alburquerque *et al.*, 2004).

Todo esto hace imprescindible que para compostar el alperujo haya que mezclar este con otros materiales adicionales (co-compostaje), que tienen que servir principalmente como fuentes de nitrógeno hasta alcanzar la relación C/N óptima. Además, dichos materiales tienen que ser de naturaleza orgánica y tener un bajo contenido de humedad de modo que sean capaces de adsorber el exceso de agua del alperujo. Es fundamental también que, al menos alguno de ellos, tengan un mayor tamaño de partícula que el alperujo de modo que se favorezca la aireación de la mezcla.



Materiales que pueden ser usados para el co-compostaje de alperujo:

- Raspón de uva
- Hojas de olivo (hojín)
- Corteza y serrín de chopo
- Gallinaza
- Residuos del desmotado de algodón
- Paja de trigo
- Residuos del lavado de la lana
- Estiércoles
- Restos de poda
- Urea

A pesar de la gran cantidad de posibles residuos orgánicos que pueden usarse para compostar alperujo, los más comunes son las hojas y los restos de poda, así como los distintos estiércoles, ya que se tratan de subproductos comunes que se encuentran en las zonas olivareras, lo que hace viable el proceso de compostaje a escala industrial (por la disponibilidad del material, su coste, y su proximidad a la planta de compostaje, etc.). (Baeta-Hall *et al.*, 2005; Cegarra y Paredes, 2008).

Los composts de alperujo suelen presentar valores de pH ligeramente alcalino, conductividad eléctrica de moderada a alta y un contenido elevado de materia orgánica. Suelen ser composts con un alto grado de humificación, no fitotóxicos, libres de patógenos y con niveles aceptables de nutrientes, si bien, debido a la amplia gama de materiales estructurantes disponibles, algunas de sus principales características, como su contenido en nutrientes, están sujetas a una variabilidad significativa (Tabla 1).



Mezcla en peso seco	Materia orgánica total (g/kg)	Relación C/N	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Referencia
Alperujo + estiércol + raspón de uva (60/25/15)	408	14,6	17,4	1,4	13,7	Cayuela (2004)
Alperujo + raspón de uva + urea (87/12/1)	896	20,7	22,7	1,6	37	Alburquerque <i>et al.</i> (2006a, 2006c, 2009); Cegarra <i>et al.</i> (2005b)
Alperujo + hojas de olivo + urea (87/12/1)	912	21,0	21,3	1,5	36,2	Alburquerque <i>et al.</i> (2006a, 2006c, 2009)
Alperujo + residuo del desmotado del algodón (80/20) (aireación forzada, temperatura umbral 50°C)	900	22,7	21,7	1,5	24,9	Alburquerque <i>et al.</i> (2006b, 2006c)
Alperujo + residuo del desmotado del algodón (80/20) (aireación forzada, temperatura umbral 60°C)	890	22,3	21,9	1,4	27,5	Alburquerque <i>et al.</i> (2006c, 2007)
Alperujo + estiércol de vaca + compost maduro (87/11/2) (aireación mecánica)	816	16,8	26,3	1,9	42,7	Alburquerque <i>et al.</i> (2006c, 2009); Cegarra <i>et al.</i> (2006)
Alperujo + estiércol de vaca + compost	793	16,6	26,2	1,9	42,5	Alburquerque <i>et al.</i> (2006c,



maduro (87/11/2) (aireación por sistema mixto)						2009); Cegarra <i>et al.</i> (2006)
Alperujo + residuo del desmotado del algodón (67/33)	825	19,1	24,5	2,4	26,7	Walker y Bernal (2008)
Alperujo + residuos del lavado de la lana + paja de trigo (72/14/14)	692	10,8	35	1,7	23	Altieri y Esposito (2010)

Tabla 1. Relación de composts de alperujo y parámetros químicos seleccionados en los mismos con vistas a su uso agrícola y medioambiental

1.3.1. Calidad del compost

El concepto de calidad del compost es complejo, ya que han de considerarse múltiples aspectos, y está sujeto, además, a cierta subjetividad (Masaguer y Benito, 2008). Dicha calidad va a depender principalmente del origen y características de las materias primas empleadas y de la evolución que haya tenido la masa durante el proceso de maduración.

Los requerimientos generales de calidad están relacionados principalmente con: aspecto y olor aceptables, higienización adecuada, concentración muy baja de impurezas y sustancias contaminantes, contenido conocido de elementos minerales útiles para suelos y cultivos, y características homogéneas a lo largo del tiempo (Soliva, 2001; Soliva y Paulet, 2001; Abad y Puchades, 2002).

El concepto de calidad es subjetivo y por ello, llega a ser en ocasiones un término controvertido, ya que los parámetros indicativos de calidad serán considerados de una u otra forma en función de cada caso (requerimientos específicos de cada tipo de aprovechamiento, aplicación o uso). Así, la calidad desde un punto de vista agronómico puede requerir también otros parámetros relevantes tales como: granulometría, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, relación C/N, nivel de nutrientes, contenido y estabilidad de la materia orgánica, índice de germinación de



semillas, y actividad microbiana, entre otros (Abad y Puchades, 2002; Goyal *et al.*, 2005; Masaguer y Benito, 2008).

En la actualidad, no existen a nivel europeo unos parámetros homogéneos de calidad que incluyan unos niveles máximos y mínimos para determinados parámetros de gran importancia para cualquier uso; como lo son el contenido en metales pesados, contaminantes orgánicos o higienización microbiológica. A nivel nacional existe el RD 506/2013 del 28 de junio sobre productos fertilizantes. Dicha normativa es la que debe de cumplir el compost antes de ser puesto a la venta en el mercado.



2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN



Los agricultores en general, y los que desarrollan su actividad en ecológico en particular, demandan potencialmente grandes cantidades de compost para ser aplicado a sus tierras de cultivo. Uno de los objetivos prioritarios de los mismos es el mantenimiento de la fertilidad del suelo y su actividad biológica (lo cual está directamente relacionado con la rentabilidad de la actividad agraria). El mantenimiento de dicha fertilidad necesita de la incorporación de materia orgánica al suelo. La principal fuente de materia orgánica a lo largo de los siglos ha sido el estiércol, el cual es cada vez más escaso, haciéndose cada vez más patente que la cantidad de estiércol existente en un futuro será insuficiente para satisfacer la demanda.

Pero no sólo el sector agrícola demanda compost en la actualidad. Otro sector de indiscutible importancia es el de los céspedes deportivos: fútbol, rugby y golf son deportes que se practican usualmente en canchas de césped sobre suelos arenosos, por lo que la aplicación de compost resulta fundamental para mejorar el contenido en materia orgánica del suelo y la estructura del mismo. En definitiva, con la operación del compostaje se logra eliminar un residuo, al mismo tiempo que se revaloriza convirtiéndose en un producto nuevo, que generalmente alcanza buenos precios en el mercado.

La planta de compostaje de Coto Bajo es un caso real de aplicación práctica de los argumentos anteriormente desarrollados; por tanto, este trabajo se desarrolla en un contexto real y pretende aportar soluciones de mejora viables desde un punto de vista técnico, económico y medioambiental. El desarrollo del mismo se ha llevado a cabo principalmente durante 4 meses de prácticas en la empresa De Campo Ingeniería y Consultoría Agraria (actual gestora de Coto Bajo), junto con trabajo de gabinete en la ETSIAM, en los Departamentos de Ingeniería Rural y Agronomía de la Universidad de Córdoba. Dichas prácticas se enmarcan en el segundo curso del Máster en Ingeniería Agronómica impartido por la Universidad de Córdoba.

Según la memoria técnica del proyecto de ejecución de la planta de compost en cuestión, dicho proyecto que hoy en día es una realidad nació con el objetivo de priorizar las enmiendas orgánicas frente a la fertilización mineral, lo cual hace necesario disponer de dichas enmiendas. Todo esto bajo el contexto del Reglamento de Producción Integrada de Olivar en el cual se inscribe esta empresa como Operador de Producción Integrada (OPI) en el año 2006 y motivo por el cual existe la planta de compost de Coto Bajo, la



cual se abastece del alperujo generado en dos almazaras que molturan la aceituna de 730 ha de olivar. El sistema de extracción en 2 fases implantado en las almazaras genera entre 75 y 80 kg de alperujo por cada 100 kg de aceituna produciendo, por tanto, grandes cantidades de dicho subproducto en todas las campañas.

Además, hay que tener presente que la planta de Coto Bajo se encuentra en una zona con pocas explotaciones ganaderas, lo cual acentúa esa escasa disponibilidad del estiércol (fertilizante orgánico natural); este fue otro de los motivos que impulsó a llevar a cabo el proyecto de construcción de la planta de compostaje de los residuos orgánicos del olivar.

La planta de compost de Coto Bajo se construye en el año 2007 y entra en funcionamiento al año siguiente. Su ubicación se realiza junto a lo que por aquella fecha era una nave dedicada a la producción porcina, con el objetivo de eliminar también los purines con el proceso de compostaje aplicando una serie de riegos. Esta idea, aparentemente buena en su concepción, nunca se desarrolló en la práctica tal y como se planteó. El diseño de la planta no tenía capacidad para almacenar todos los lixiviados generados, ocasionando problemas de manejo, y menos aun incorporando purines junto con gallinaza como fuente de nitrógeno, ya que los purines tienen una humedad muy elevada. Al cabo de un tiempo se dejó la producción porcina, quedando la gallinaza como única fuente de nitrógeno en el co-compostaje y pasando a destinarse la nave de los cerdos al almacenamiento del compost ya elaborado.

En la actualidad, el futuro de esta planta está condicionado a que se solventen los problemas que hoy en día existen asociados a la misma. A lo largo de estos ocho años la planta de compostaje de Coto Bajo ha demostrado su capacidad para producir un compost de calidad que ha alcanzado precios adecuados en el mercado, quedando patente, por tanto, su viabilidad económica. No obstante, existen una serie de problemas de carácter medioambiental que tienen que solventarse. Dichos problemas son los siguientes:

-Parte las instalaciones de la planta se ubican en la zona de policía de un afluyente innominado que vierte sus aguas al arroyo la Marota.

-La gallinaza no es un subproducto de Coto Bajo; por tanto, es imprescindible su adquisición en el mercado. Dichos costes son muy elevados porque hace falta mucha gallinaza dado su bajo contenido en nitrógeno (esto lleva



implícito que la mezcla para el co-compostaje ocupe un volumen mayor que en el caso del empleo de otro ingrediente con mayor riqueza en nitrógeno).

-Existe un compromiso por parte de los anteriores gestores de Coto Bajo con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, mediante el cual se comprometen a construir un muro de hormigón armado de grandes dimensiones aguas abajo de la planta, impermeabilizando también toda la ladera vertiente.

Dicha obra haría del todo inviable la actividad del compostaje y ocasionaría un gran impacto visual que iría en detrimento de la calidad del paisaje. Además, no solucionaría el problema, porque el objetivo de la misma es el de evitar que un hipotético vertido llegue a la Marota, lo que convierte esta actuación en una medida correctora, las cuáles no están contempladas en la normativa de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para este tipo de instalaciones. Es decir, el diseño de las instalaciones tiene que ser adecuado y la posibilidad de que se origine un vertido no puede contemplarse como criterio de diseño. Pero no sólo eso, sino que hay que tener también en cuenta que sería muy costoso y complejo eliminar los residuos de ese hipotético vertido que se acumulasen en el vaso creado por el muro de hormigón. Por todo ello, los actuales gestores de Coto Bajo pretenden desarrollar una alternativa viable económicamente que, al mismo tiempo, sea más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, solucionando el problema de raíz. Esta es la motivación principal de este Trabajo Fin de Máster.

Dado el carácter práctico y de aplicación real de este TFM, los sucesivos avances del mismo han sido analizados en varias reuniones con los ingenieros encargados de la gestión de Coto Bajo, quienes han puesto de manifiesto que su principal prioridad es la de dejar de operar en la parte de la planta que está dentro de la zona de policía, aunque eso conlleve una reducción del volumen máximo a compostar en la misma, así como cualquier reestructuración del sistema que fuese necesaria. Además, manifestaron su intención de sustituir la gallinaza por urea como fuente de nitrógeno, ya que al tener esta una mayor concentración en dicho elemento, se reduciría el volumen que ocupa la mezcla para el co-compostaje; con esto se pretende que la reducción de superficie de la planta afecte lo mínimo posible a la cantidad máxima de alperujo que esta pueda compostar. Dicha cantidad se ha estimado en 7.000 Mg de alperujo anuales.



Una vez introducidos dichos cambios se pretenden buscar y evaluar brevemente alternativas a la obra del muro que garanticen que no se va a producir un vertido de lixiviados por rebose de alguna de las balsas, bajo un contexto distinto al de accidente imprevisible.



3. OBJETIVOS



El objetivo general del presente trabajo consiste en realizar un diagnóstico del funcionamiento actual de la planta de compost de Coto Bajo para cuantificar sus principales problemas, y desarrollar una serie de propuestas viables técnica, económica y medioambientalmente, que los solventen optimizando así el proceso de compostaje. Para ello, se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de la zona de policía del afluente innominado vertiente a la Marota. Cuantificación de la superficie de la planta incluida en dicha zona e inhabilitación de la misma.

- Diseño de una nueva mezcla para el co-compostaje que incluya urea como fuente de nitrógeno. Comprobar que hay espacio suficiente para compostar 7.000 Mg de alperujo en la superficie útil (no incluida en zona de policía).

- Estudio de la capacidad de almacenamiento efectiva de las balsas a escala anual. Comprobar si las balsas tienen capacidad suficiente para almacenar todos los lixiviados en un año hidrológico de percentil aceptable para este tipo de infraestructuras.

- Análisis de las posibles soluciones de manejo y reingeniería de las instalaciones, que se proponen para solventar los problemas detectados y diagnóstico de la nueva situación.



4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

La localización y descripción de las principales características del medio en el cual se enmarca la zona de estudio resulta fundamental en cualquier tipo de trabajo o estudio. En este TFM, se aborda este tema a dos escalas distintas (de mayor a menor):

4.1.1. Escala comarcal.

El relieve, el clima, la edafología, etc. son características intrínsecas al medio que requieren una escala de trabajo suficiente para poder apreciar diferencias significativas. La escala comarcal es la que se ha considerado en este trabajo para tal fin.

4.1.1.1. Localización geográfica y orografía.

La planta de compost de Coto Bajo, sobre la cual versa este estudio, se ubica en el término municipal de Guadalcázar (Córdoba) (Figura 4).

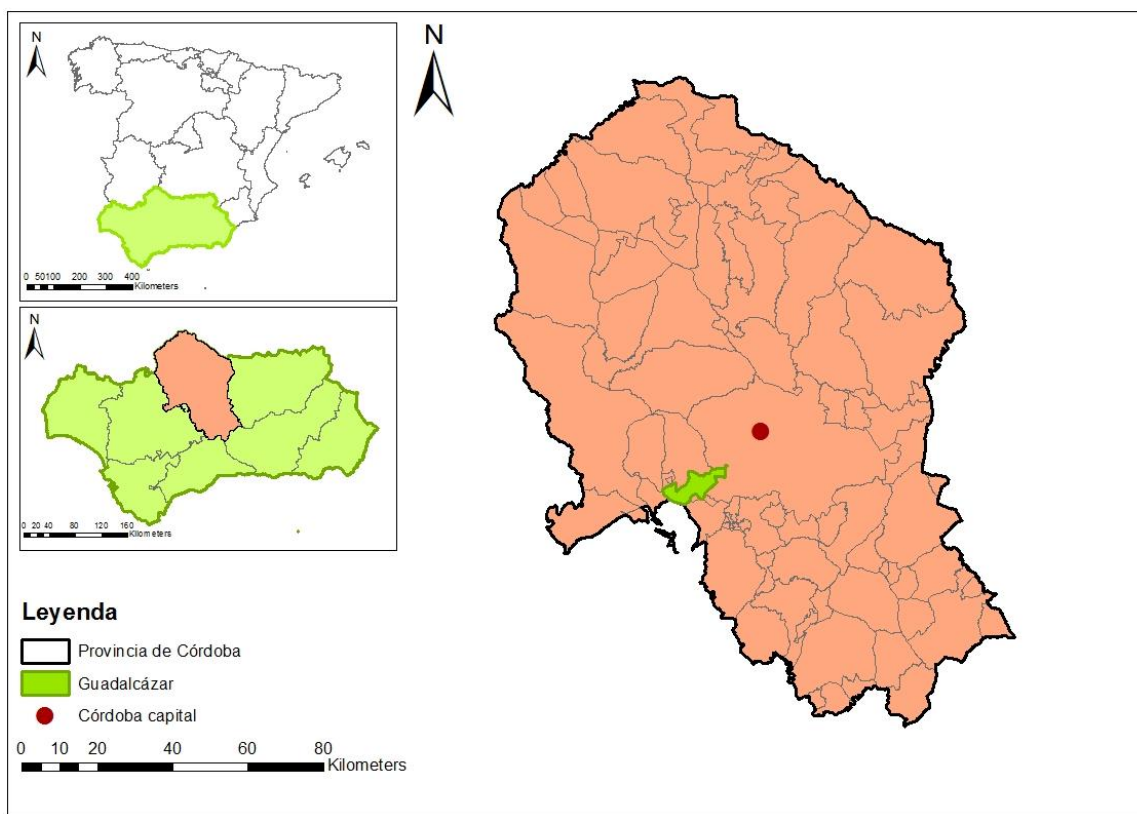


Figura 4. Localización del T.M. de Guadalcázar en la provincia de Córdoba (Andalucía). El punto rojo indica la ubicación de Córdoba capital.

Guadalcázar pertenece a la comarca del Medio Guadalquivir (1.164 km^2 de superficie) junto con otros 13 municipios, seis de ellos se ubican al este de Córdoba capital y 7 al oeste (Figura 5).

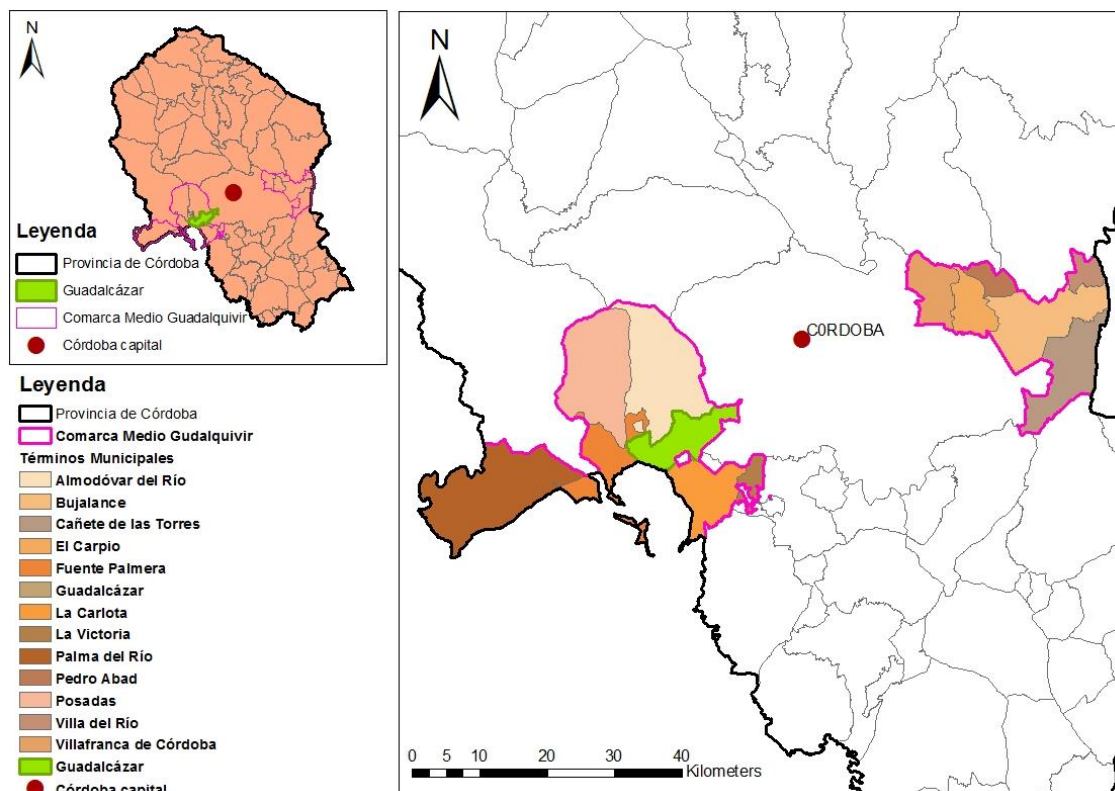


Figura 5. Términos municipales que constituyen la comarca del Medio Guadalquivir, la cual se encuentra en la zona central de la provincia de Córdoba. La comarca no incluye el T.M. de Córdoba capital.

Desde el punto de vista orográfico, la comarca se encuentra incluida en la depresión del Guadalquivir, la cual atraviesa la provincia de Córdoba de este a oeste. La depresión se caracteriza por la escasa inclinación y suave ondulación de sus terrenos. Ésta se divide a su vez en tres sub-regiones: Vegas del Guadalquivir, Terrazas del Guadalquivir y la Campiña de Córdoba.

4.1.1.2. Climatología de la zona.

En términos generales, Andalucía se caracteriza dentro del tipo de clima mediterráneo, pero hay que tener en cuenta que los factores geográficos de la Comunidad así como la disposición del relieve y la altimetría, establecen una regionalización a menor



a escala que da lugar a diversas zonas bioclimáticas con características diferentes. Ésta es la explicación por la que el clima del Valle del Guadalquivir es un tanto peculiar.

Dicho clima posee todos los rasgos más característicos de lo que sería por definición el clima mediterráneo (altas temperaturas, irregulares precipitaciones y fuerte insolación).

Se caracteriza por los inviernos suaves y los veranos muy calurosos. Las temperaturas medias anuales superan los 17,5 °C, la insolación media anual ronda las 3.000 horas y la pluviometría media anual es de 546 mm (NERA Medio Guadalquivir, 2007).

2.1.1.3. Geología y litología.

El territorio se caracteriza por ser un terreno llano y desde un punto de vista geológico principalmente formado por calcarenitas, arenas, margas y calizas; constituyendo éstos los principales materiales litológicos de la zona.

4.1.1.4. Edafología, usos del suelo y entorno socioeconómico.

En todo el Valle del Guadalquivir el principal uso del suelo es la agricultura y está considerado como una de las zonas más fértiles de toda España, tanto por la calidad de la tierra como por las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua. Dicha calidad de la tierra hace referencia a que los suelos de esta zona son, en términos generales, suelos profundos, arcillosos y abundantes en nutrientes.

La agricultura es la principal actividad económica de la zona, con un elevado porcentaje de la agricultura en regadío. Destaca el cultivo de cítricos, siendo una de las principales zonas productoras y comercializadoras de Andalucía. Otros cultivos abundantes en la zona son el maíz y el trigo, así como el algodón y la remolacha; los cuales se encuentra actualmente en franca decadencia.

El olivar es otro cultivo de gran importancia en la zona cuya superficie se ha incrementado en los últimos años; ejemplo de ello es la finca Coto Bajo, que pasó de estar destinada al cultivo de cereal a convertirse en una plantación de olivar en intensivo. En la actualidad, el Valle del Guadalquivir en Córdoba suma más de 43.000 ha de olivar (NERA Medio Guadalquivir, 2007).



4.1.2. Escala de cuenca.

Descendiendo a una menor escala, se establece como unidad de trabajo la cuenca definida por un cauce innominado que desemboca en la Marota. Como ya se indicó en los antecedentes de este trabajo, parte de la planta de compostaje de Coto Bajo está en la zona de policía de dicho cauce. Esto podría desencadenar problemas asociados a un hipotético vertido, que tendrían una influencia directa en dicha cuenca, convirtiendo la misma en el soporte que conduciría los lixiviados a la Marota.

4.1.2.1. Localización, hidrología y fisiografía.

La planta de compostaje de Coto Bajo se encuentra en la finca del mismo nombre, la cual posee una extensión de 836 ha de las cuales 732 son de olivar (SIGPAC, 2016). La finca se compone de las siguientes parcelas SIGPAC que abarcan dos términos municipales:

- T.M. de Guadalcalzar:
 - Polígono 1 parcelas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
 - Polígono 2 parcela 12
 - Polígono 3 parcela 23
- T.M. de Almodovar del Rio:
 - Polígono 11 parcelas 12, 13 y 25
 - Polígono 13 parcelas 5,7 y 40

Más concretamente, la planta de compostaje se encuentra en la parcela “El Gamo” (parcela 5 polígono 1 del SIGPAC), la cual posee una extensión de 158,39 ha (Figura 6). El acceso más directo a la misma es por la carretera CO-3.313 (Guadalcalzar – Almodovar del Rio) km 6,5.

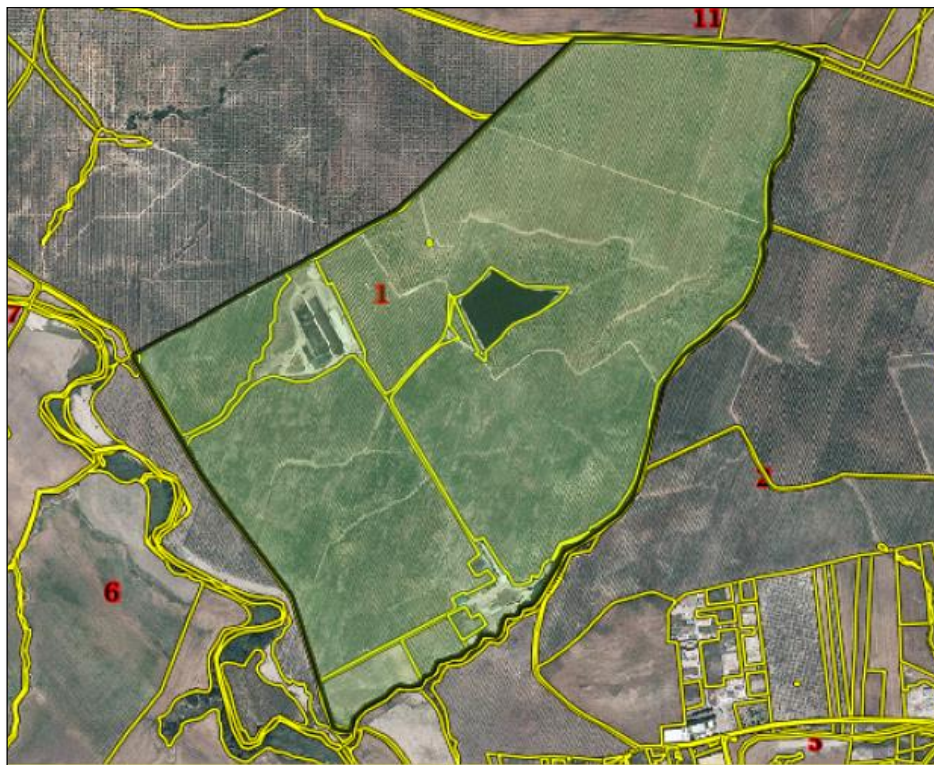


Figura 6. Parcela “El Gamo” donde se ubica la planta de compost de Coto Bajo (SIGPAC, 2016)

Como ya se ha indicado con anterioridad, desde un punto de vista hidrológico, la planta pertenece a la cuenca vertiente de un cauce “innominado” que desemboca en el arroyo la Marota (Figura 7). La Marota es un afluente de la margen izquierda del Guadalquivir que nace en el término municipal de La Rambla y en el término municipal de Almodóvar del Río (a pocos metros del núcleo de población). Su longitud es de 36,04 km y tiene como principales afluentes el arroyo de la Torvisca, el arroyo de las Ansaras y el arroyo de las Tinajas.

La cuenca posee una superficie de 25,35 ha. El cauce innominado que constituye el eje de drenaje principal de la misma discurre a escasos metros de la planta de compostaje de Coto Bajo. La cuenca definida por dicho cauce puede observarse en la Figura 7.

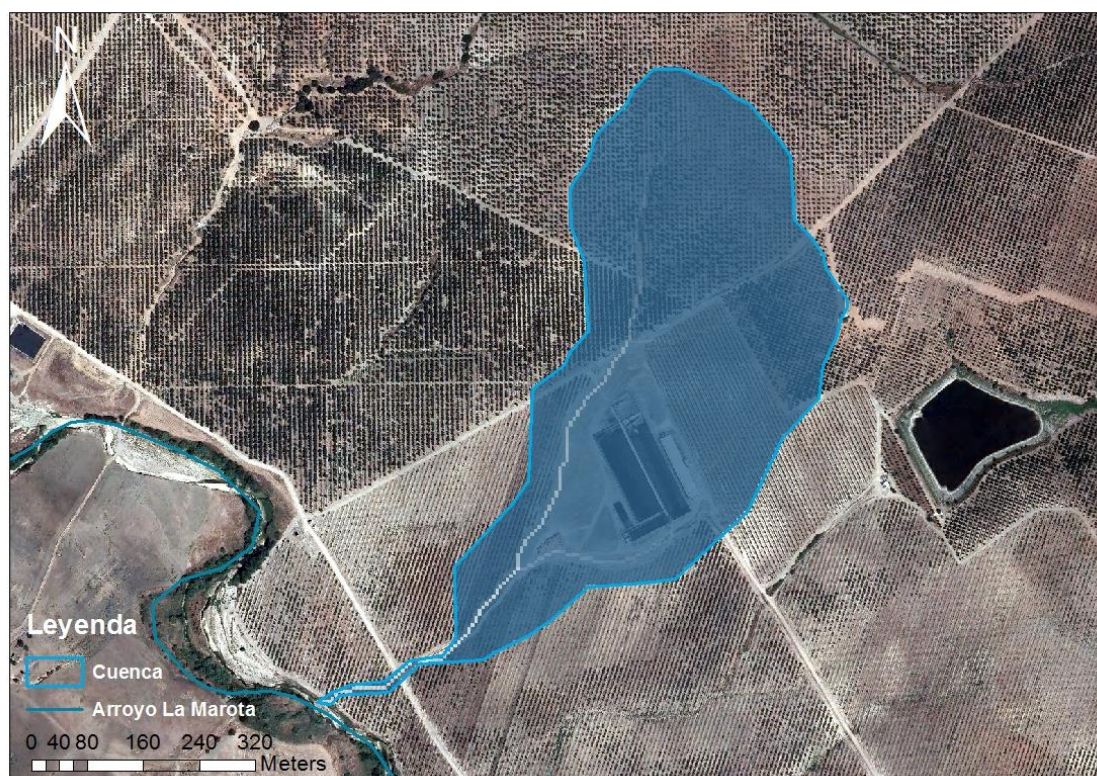


Figura 7. Cuenca definida por el cauce innominado en la cual se encuentra la planta de compostaje de Coto Bajo. La cuenca se ha calculado a partir del MDE de 5x5 m de resolución espacial

La cuenca del cauce innominado escapa de los límites de la parcela “El Gamo” (pol. 1 parcela 5) introduciéndose por la parte norte en la parcela 3 (polígono 1) y cerca de la desembocadura en la Marota se introduce en la parcela 6 (polígono 1) por lo que sigue perteneciendo a la finca Coto Bajo.

El cauce innominado que constituye el eje principal de la red de drenaje de la cuenca posee una longitud de 928 m; se trata de un cauce que a lo largo de la historia ha ido sufriendo una serie de transformaciones que principalmente han influido en su trayectoria (Anejo 1).

En cuanto a fisiografía, la cuenca posee una cota que varía desde los 192 m.s.n.m. en el punto más alto, hasta los 109 m.s.n.m. en el punto de desagüe de la misma, es decir, en el entronque del cauce innominado con el arroyo de la Marota (Figura 8). La fisiografía es de gran importancia, sobre todo por su influencia en los procesos geomorfológicos como la erosión

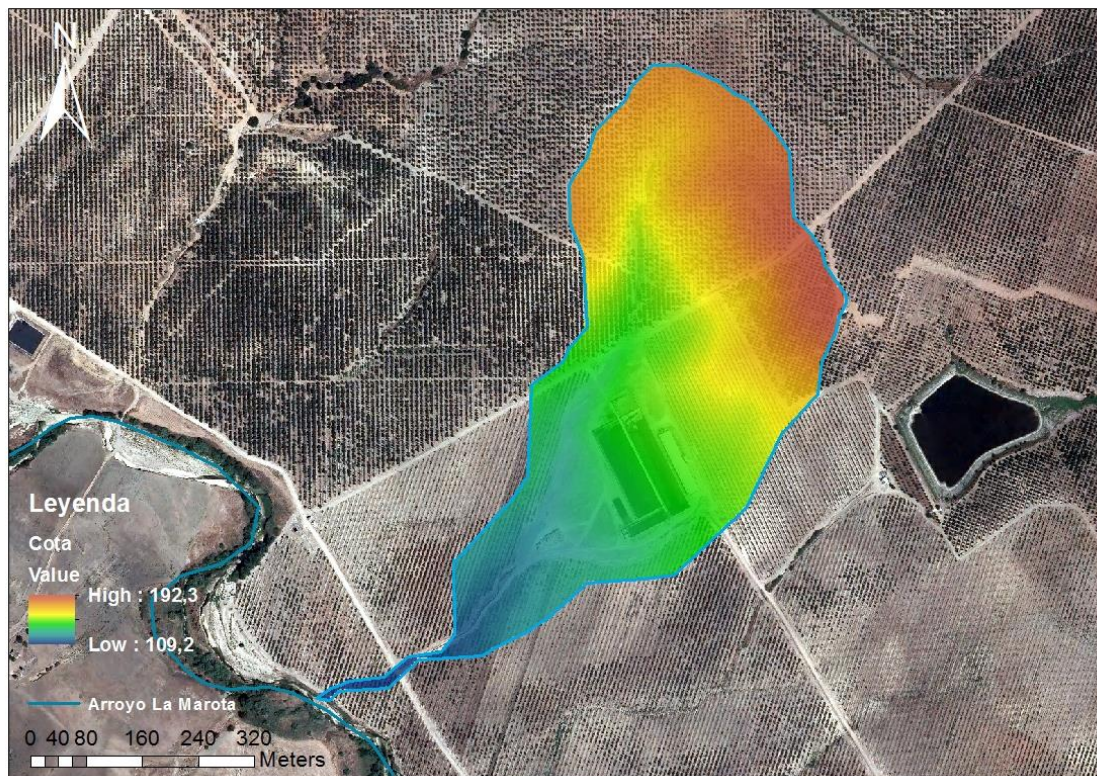


Figura 8. Modelo Digital de elevaciones (MDE) de la cuenca del arroyo innominado con resolución espacial de 5 x 5 m.

Igualmente se observa una gran variabilidad en las pendientes que varían desde el 181 % al 18% (Figura 9). Las instalaciones de la planta de compostaje se encuentran en unas de las zonas más llanas de la misma.

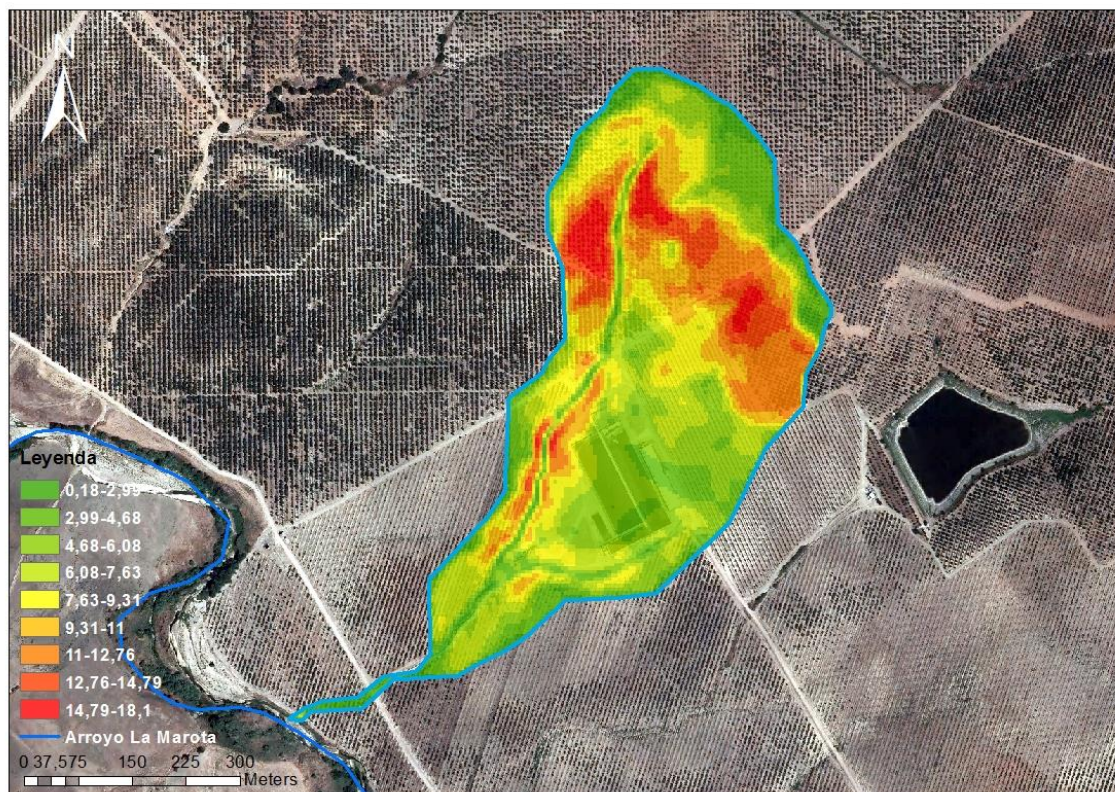


Figura 9. Mapa de pendientes de la cuenca del arroyo innominado calculado a partir del MDE de 5x5 m de resolución espacial.

El cauce innominado no existe como tal hoy en día. Esto es debido en parte al cambio en el uso y manejo del suelo que se produjo al pasar del cultivo de cereal extensivo al olivar; lo que modificó la hidrología de la cuenca y en buena parte provocó que el cauce se convirtiera en una simple depresión en el terreno por la cual no se ha observado que circule agua alguna en los últimos años. Además, cabe destacar que un camino público cruza perpendicularmente dicho cauce a escasos metros de su intersección con la Marota, sin apreciarse ni el más mínimo surco en el terreno hasta la desembocadura, a pesar de la inexistencia de ningún tipo de obra de paso. Sólo puede observarse en la actualidad una parte de lo que fue el cauce (una especie de pequeña cárcava), totalmente cubierta de vegetación herbácea y pastizal unos metros antes del cruce del cauce y el camino (Figura 10).

En la Figura 10 se puede también observar cómo parte de la cárcava existente está fuera de los límites de la cuenca que se ha calculado según el MDE. Esto es debido a que a pesar de la muy buena resolución espacial del MDE (5 x 5 m), a esta escala tan pequeña,

la microtopografía y las modificaciones del terreno que no aparecen recogidas en el mismo generan que éste no reproduzca fielmente la realidad.

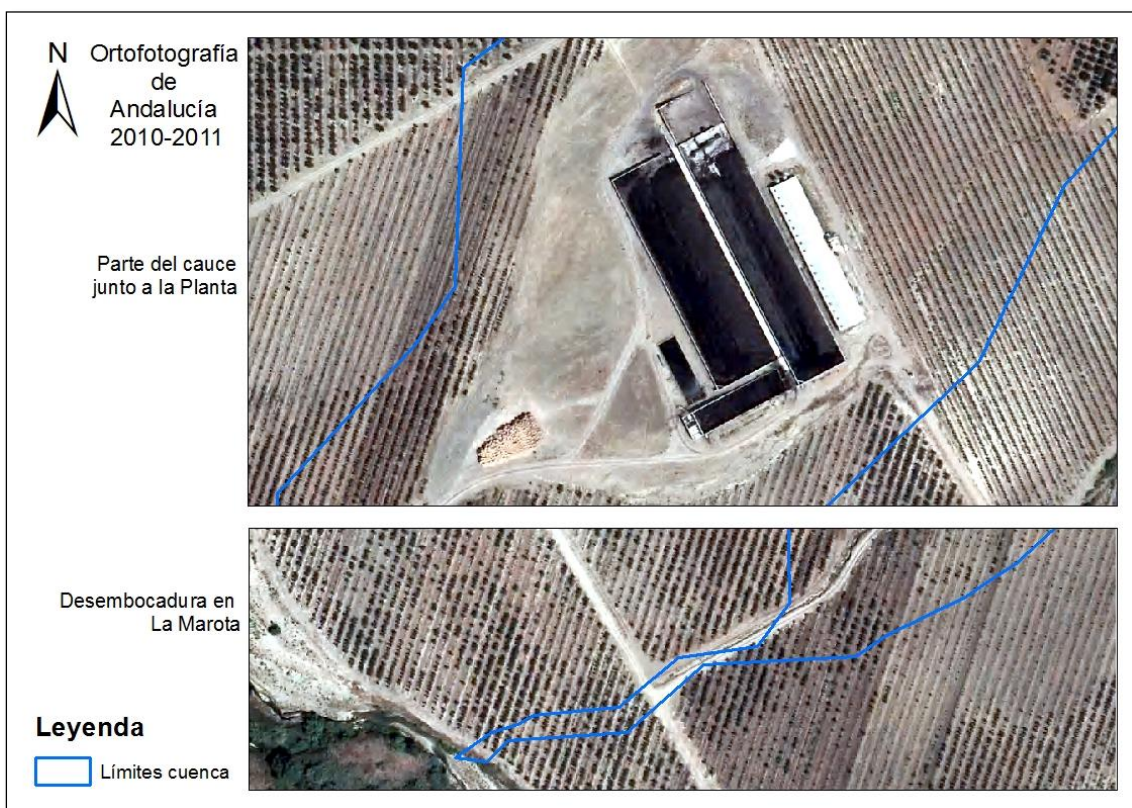


Figura 10. Error de ajuste de la cuenca definida por el cauce innominado con la cárcava en la que se ha transformado dicho cauce.

4.1.2.2. Ocupación del suelo

Según el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España), el uso predominante en la cuenca es el olivar. La zona correspondiente con la planta en sí aparece como zona de extracción o vertido (Figura 11), y el área ocupada por la nave en la cual actualmente se almacena el compost terminado, aparece con uso ganadero; esto es debido a que anteriormente esta nave estaba destinada al ganado porcino (inexistente en la finca Coto Bajo en la actualidad).

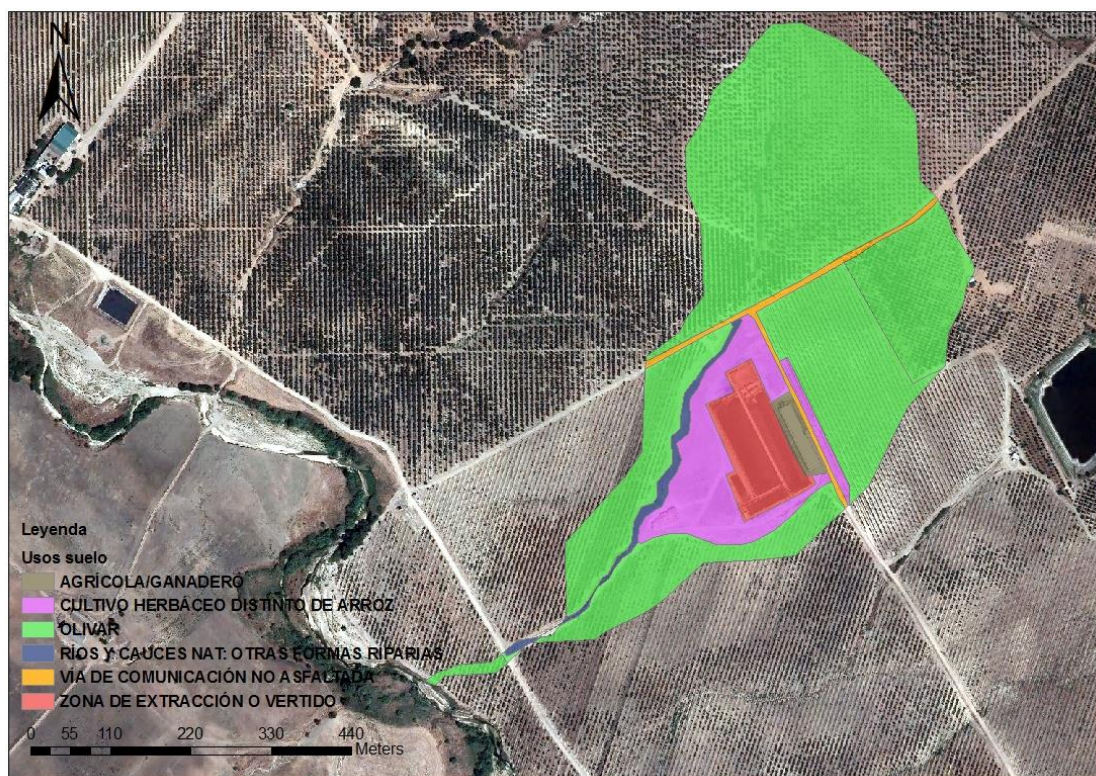


Figura 11. Usos del suelo de la cuenca según el SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) en la cuenca definida por el cauce innominado.

4.1.2.3. Zona de policía

Por zona de policía se entiende, según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), la constituida por una franja lateral de cien metros de anchura a cada lado del cauce, contados a partir de la línea que delimita el mismo, en la que se condiciona el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen (Figura 12) (RD 849/1986).

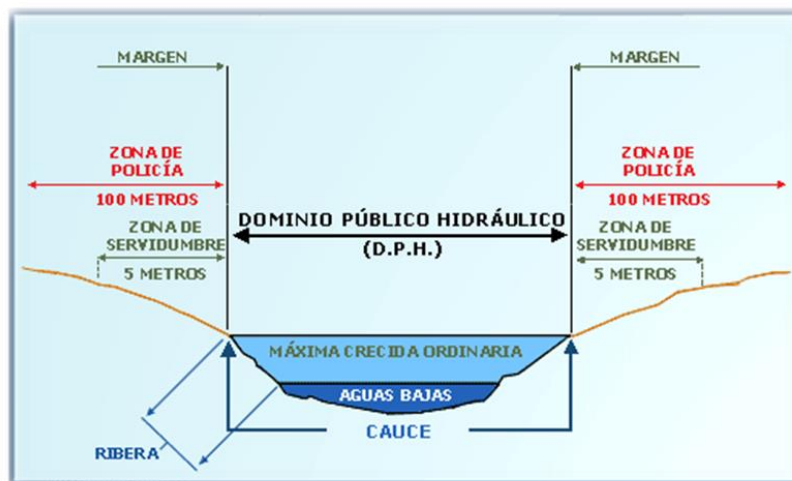


Figura 12. Esquema sobre lo que sería la zona de policía de cauces según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986)

En dicha zona, la ejecución de cualquier obra o trabajo precisa autorización administrativa previa del Organismo de cuenca, sin perjuicio de los supuestos especiales regulados por el RDPH. Dicha autorización será independiente de cualquier otra que haya de ser otorgada por los distintos órganos de las administraciones públicas (RD 849/1986).

Se tiene conocimiento de que parte de las instalaciones de la planta de Coto Bajo están dentro de la zona de policía del cauce innominado, y no se dispone de dicha autorización por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), a pesar de que sí que tiene aprobada su AAU (Autorización Ambiental Unificada). Por ello, se calcula en este estudio qué superficie realmente está dentro de la zona de policía y según los resultados se actúa.

4.2. PLANTA DE COMPOSTAJE COTO BAJO

Una vez descrito el medio físico que rodea a la planta de compostaje, se procede a la descripción de las instalaciones de la misma y su funcionamiento.

4.2.1. Almazaras.

La finca Coto Bajo cuenta con dosalmazaras, una en el T.M. de Guadalalcázar y otra en el T.M. de Almodóvar del Río. Entre las dosalmazaras dispone de un total de 4 líneas de molturación con capacidad suficiente para molturar toda la producción, así como de una planta envasadora. Posee también unas balsas de hormigón armado con



capacidades suficientes y normalizadas para recoger todas las aguas de lavado que se obtienen del proceso de extracción del aceite de oliva y de la limpieza de estas almazaras.

4.2.2. Descripción de la obra civil.

La planta de compost de Coto Bajo se compone de dos plataformas o eras de compostaje: una de 5.600 m^2 y otra de 4.800 m^2 de superficie (Anejo 2). Dichas plataformas vierten sus lixiviados a dos balsas cuyas capacidades son de 1.050 m^3 y 3.420 m^3 respectivamente (Figura 13).

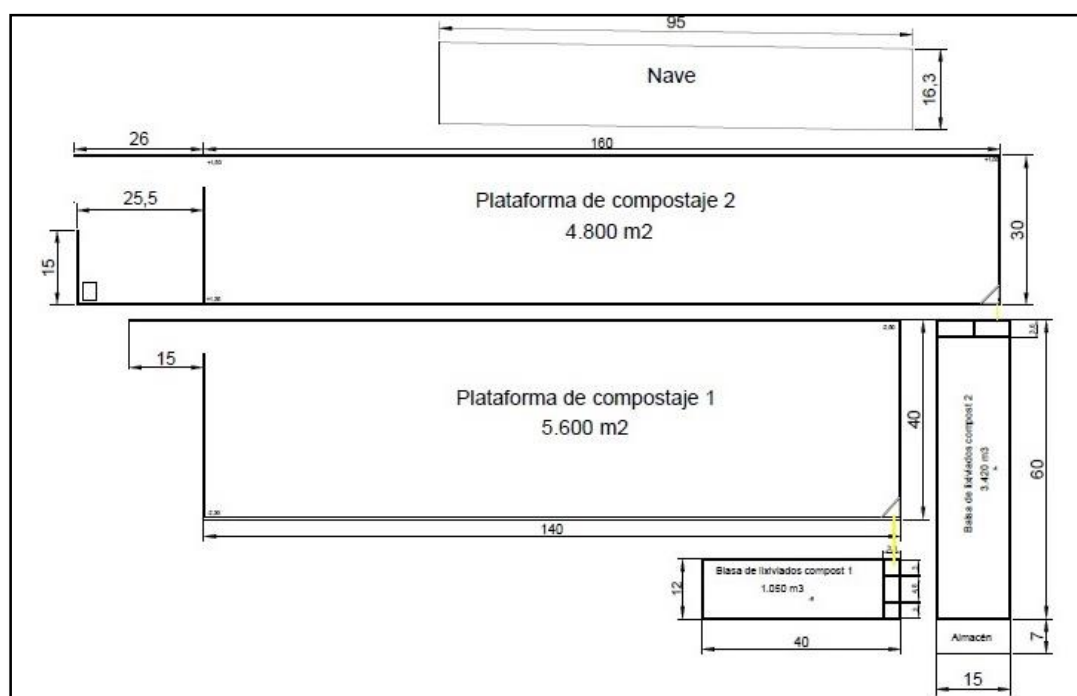


Figura 13. Plano en planta de las instalaciones de la planta de compost de Coto Bajo.
*En el Anejo 2 puede verse con mayor precisión en formato A3.

Las eras de compostaje tienen un firme compuesto de una capa anticontaminante del terreno con tierra muy arcillosa compactada y solera de 25 cm de espesor vibrada y fratasada con hormigón tipo HA-25, ligeramente armado con mallas de redondos de 8 mm y paso de 20 cm. El cerrado de la era o plataforma está realizado con muros de hormigón de 30 cm de espesor y 3 m de altura, armados con doble malla de redondos de 10 mm y paso de 20 cm.

Las balsas donde se acumulan los lixiviados son también de hormigón HA-25, igualmente impermeabilizadas y armadas que las plataformas. Los lixiviados llegan a las



mismas a través del drenaje instalado en las esquinas de cota más baja de las plataformas de compostaje. El drenaje funciona por gravedad, ya que las eras se encuentran inclinadas hacia la esquina inferior derecha. Además, una de las balsas posee una bomba que se utiliza para poder realizar los riegos necesarios para que el proceso de compostaje se desarrolle en las condiciones más óptimas posibles.

4.2.3. Maquinaria de la planta.

La planta de compost cuenta con un parque de maquinaria compuesto por una trituradora de restos de poda de olivar, una picadora de paja, remolques para el transporte de la paja, hojas de limpieza de la aceituna y poda del olivar triturada. Dos cubas de 12.000 L de capacidad para el transporte del alperujo, cuatro remolques específicos para el transporte de gallinaza, dos tractores, una pala de cadenas giratoria y una pala mixta (retroexcavadora). También se dispone de una volteadora autopropulsada de $2.000\text{ m}^3/\text{h}$ de capacidad de volteo. Una cribadora tipo Tromer giratorio de 5 m de largo con dos cribas, una interior de 3 mm y otra exterior de 1 mm de diámetro de donde se obtiene el producto ya terminado.

4.2.4. Proceso actual de producción de compost

En los antecedentes y la justificación de este trabajo (apartado 2) ya se indicó que se pretende cambiar la composición de la mezcla para el co-compostaje, así como el manejo que actualmente se lleva a cabo en la planta con el objetivo de solventar los problemas que existen. Por ello, se procede en primer lugar a describir como se está gestionando la planta en la actualidad.

4.2.4.1. Origen de los materiales

La planta de compostaje de Coto Bajo está actualmente destinada al compostaje del alperujo generado en las almazaras de la propia finca. Como ya se indicó en el apartado introductorio sobre el compostaje de alperujo (apartado 1.3.), para compostar alperujo se requiere adicionar otros materiales con el objetivo de paliar aquellas características intrínsecas del alperujo que impedirían su compostaje, principalmente su elevada humedad, bajo contenido en nitrógeno y su baja porosidad (impide la circulación del aire).

A día de hoy, el compost producido en la planta de Coto Bajo es el resultado de un proceso de transformación mediante pilas dinámicas en condiciones controladas del alperujo de aceituna junto con gallinaza, aportándose otros materiales orgánicos de origen



vegetal como son: la paja de cereal, las hojas de olivo y la poda del olivar triturada. Estos últimos sirven como estructurantes de la mezcla inicial y como extractores de humedad del alperujo. Se trata, por tanto, de un sistema abierto mediante pilas dinámicas con volteos (apartado 1.2.2.).

El alperujo procede de la molturación de las aceitunas en las dos almazaras existentes en la explotación, las cuales generan en término medio 7.000 Mg anuales de alperujo. La gallinaza es ingrediente de adquisición externa, proveniente de tres granjas de gallinas ponedoras, las cuales pertenecen a otras empresas cercanas a la explotación con las que existe un acuerdo de colaboración. Las hojas de olivo (hojín) proceden de la limpieza de la aceituna en los patios de recepción de las almazaras de la finca, y la poda del olivar triturada procede de las 730 ha de olivar de la misma.

4.2.4.2. Caracterización química de cada elemento

El alperujo constituye el elemento principal de la mezcla y en él radica el sentido de realizar el compostaje, por ser éste el ingrediente principal y el residuo que pretende revalorizarse. En la Tabla 2 se muestran los valores medios de la composición química del alperujo generado en las almazaras de Coto Bajo durante la campaña del año en curso.

Fecha de recepción: 11/03/2016	
Fecha de análisis: 15/03/2016	
Densidad aparente (20°C) g/cm ³	1,07
Humedad (%)	70,8
Extracto seco (%)	29,2
Materia orgánica total (%)	27,49
Nitrógeno total (%)	0,5
Carbono orgánico total (%)	15,98
Relación C/N	31,97

Tabla 2. Análisis químico realizado por laboratorio especializado a partir de alperujo generado en las almazaras durante la campaña 2015-2016.

*Resultados en % M/M sobre el producto tal cual. La densidad aparente es la del producto tal cual (no la del producto seco).



En cuanto a la gallinaza procedente de las granjas de gallinas ponedoras, así como el hojín, los restos de poda y la paja de cereal, en la Tabla 3 se muestran los valores medios de los parámetros más relevantes a tener en cuenta, para la realización de la mezcla inicial necesaria para comenzar el proceso de compostaje.

Materia prima	H (%)	C (%)	N (%)	C/N	D.A. (g/cm ³)
Hojín + restos poda	36,58	51	1,75	29,14	0,2
Gallinaza	20,1	40	3,2	12,4	0,4
Paja de cereal*	12	56	0,7	80	0,1

Tabla 3. Valores medios de referencia de Humedad (%), Materia orgánica (%), Carbono (%), Nitrógeno (%), relación Carbono/Nitrógeno (%) y Densidad Aparente en materia primas para el co-compostaje de subproductos de almazara.

*Los valores de la paja de cereal se corresponden con valores teóricos (Navarro, 1995) dada la inexistencia de análisis químicos de la paja de la finca.

4.2.4.3. Manejo actual

El calendario que se mantiene en la actualidad comienza en marzo-abril. En dicha fecha, el alperujo producido en la última campaña se lleva desde las balsas de las almazaras hasta la planta de compost. En la plataforma 1 se realizan los trojes con el material que queda del año anterior y adicionando paja, hojas y restos de poda (Figura 14). Los trojes son como una especie de cono tipo volcán, que se constituye con las hojas y restos de poda, así como mezcla de la anterior campaña, y en cuyo interior se añade el alperujo y la paja. En el Anejo 3 puede observarse un análisis químico del material de los trojes realizado al inicio del presente trabajo.

Durante los meses de mayo, junio, julio y agosto (siempre que las condiciones meteorológicas así lo permitan), el material más evolucionado de la plataforma 1 (el del año anterior) pasa a la plataforma 2, donde se dispone en forma de pilas que periódicamente se van volteando. Cuando el producto está terminado (humedad en torno al 5-10 %) pasa de la plataforma 2 a la nave donde se almacena hasta su venta (Figura 14). Hay que destacar que la etapa de volteos se va a ralentizar muy significativamente si aparecen precipitaciones, ya que aumentaría la humedad de la masa llegando a poder alcanzar incluso la de saturación. Esto obligaría a detener el proceso hasta que la humedad

disminuyera y comenzar de nuevo los volteos. Por tanto, la meteorología influye directamente en el proceso, ya que el compost no está terminado hasta alcanzar la humedad anteriormente indicada, lo cual obliga a que las pilas sólo puedan hacerse en verano (altas temperaturas y ausencia de precipitaciones).



Figura 14. Flujo actual de materiales en la planta de compostaje de Coto Bajo. Las líneas tipo flecha indican el flujo de lixiviados

El proceso de compostaje en Coto Bajo dura, por tanto, entre 15 y 17 meses; es decir, que el alperujo generado en una campaña no sale como compost elaborado hasta pasada la campaña siguiente. Bien es cierto que podría sacarse el compost en menos tiempo, pero no es esto un objetivo de explotación en Coto Bajo, puesto que sería necesario ir haciendo mezcla para el co-compostaje conforme se genera alperujo en las almazaras. Esto generaría un cierto colapso porque en Coto Bajo, durante el tiempo que dura la recolección de la aceituna, toda la plantilla tanto fija como eventual se encuentra al 100% volcada en la recolección de la misma y en la producción y el envasado del aceite, concentrando la mano de obra en el compostaje para cuando haya acabado la



campaña. Esto hace imposible que el compost pueda salir terminado en verano de dicho año y necesite aguardar al siguiente.

Una vez el producto está terminado, previamente a su salida al mercado, se analizan los lotes. Hay que tener en cuenta que el análisis es válido por tres meses, de modo que, si pasa dicho tiempo tras la realización del mismo y el producto aún no ha sido vendido, hay que repetir el análisis (RD 506/2013 de productos fertilizantes).

4.2.4.4. Nueva mezcla para el co-compostaje

La gallinaza es el “ingrediente” de la mezcla que se añade al alperujo como fuente de nitrógeno (dado el bajo contenido del mismo en dicho elemento), si bien el contenido en nitrógeno de la gallinaza es del orden del 3% en masa (Tabla 3). Esto explica lo que diariamente puede observarse en la planta de compost de Coto Bajo: que hacen falta enormes cantidades de gallinaza para compostar todo el alperujo generado por las almazaras de la finca.

Además, hay que tener presente que la gallinaza no es un residuo de la finca Coto Bajo, sino que se adquiere de terceros teniendo que pagar por ello y asumiendo además los costes de transporte. Éste es el motivo por el cual desde la dirección de Coto Bajo se ha tomado la decisión de compostar en un futuro próximo (cuando se agoten las mezclas que actualmente están proceso) aportando como fuente de nitrógeno urea (fertilizante). La urea tiene un 46% de nitrógeno (Tabla 4) y haría que, por tanto, se necesitara una cantidad mucho menor de la misma, disminuyendo así el volumen total de mezcla.

Materia prima	H (%)	C (%)	N (%)	D.A. (g/cm ³)
Urea	0,5	-	46	0,8

Tabla 4. Urea fertilizante. Fuente: Datos medios obtenidos de catálogos comerciales.

El segundo de los motivos por el cual los técnicos de Coto Bajo han decidido aportar urea en lugar de gallinaza es para reducir los volúmenes de mezcla a manejar, facilitando así compostar en la parte de la planta que se ubica fuera de la zona de policía e inhabilitando la zona de las eras incluidas en la misma. Como ya se dijo anteriormente,



lo ideal sería que tuviesen suficiente capacidad para compostar un máximo de 7.000.000 kg de alperujo.

Hay que tener en cuenta que hay años en los que el compost tiene un bajo precio en el mercado e interesa vender parte del alperujo generado directamente, destinándose este a orujeras y plantas de cogeneración, principalmente.

Por otro lado, hay que destacar también que la gallinaza, además de su bajo contenido en nitrógeno, tiene un alto contenido en agua. Esto justifica también la decisión anterior, puesto que con el transporte de la misma, se estaba invirtiendo parte del coste en transportar agua que luego constituye un problema en la planta ralentizando el proceso.

4.3. MODELO DE MEZCLAS ÓPTIMAS

La primera tarea a realizar para que pueda desarrollarse con éxito una actividad de compostaje con alperujo (co-compostaje) consiste en lograr una correcta combinación de los ingredientes iniciales (mezcla). Los parámetros más importantes a tener en cuenta y que hay que tratar de ajustar para llevar a cabo la elaboración de la misma, son la humedad (%) y la relación carbono/nitrógeno (C/N).

Alcanzar la humedad óptima ha sido aceptado como criterio básico de optimización del compostaje (Díaz, 1999). Esto es debido a que el compostaje es un proceso de degradación de la materia orgánica; por lo que la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los organismos que intervienen en el proceso.

El objetivo del empleo de un modelo para calcular la mezcla óptima radica en la necesidad de diseñar la proporción de cada componente, puesto que se pretenden cambiar los “ingredientes” que hasta la fecha se han empleado en las instalaciones de Coto Bajo para el co-compostaje. También existe otra finalidad que es la determinar si es posible compostar 7.000 Mg de alperujo en las instalaciones de la planta tras haber inhabilitado la superficie de la misma que se halle en zona de policía.

La Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, tiene publicada en su página web un estudio titulado “Mezclas óptimas de material vegetal para el compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico-química de los compost producidos” (Álvarez, 2006). Dicho estudio incluye unos modelos



teóricos de cálculo de mezclas implementados en Excel que han sido desarrollados por la Universidad de Cornell (Richard y Trautman, 1996). Dicha “calculadora de compost” ha sido actualizada en varias ocasiones desde la publicación del estudio de Álvarez (2006), por lo que se ha recurrido a la versión más actual (marzo de 2014).

4.3.1. Base matemática del modelo

El modelo desarrollado por la Universidad de Cornell es un modelo sencillo que se basa en el álgebra lineal y permite el cálculo de mezclas óptimas con hasta cuatro materias primas diferentes.

Las ecuaciones para cada uno de los objetivos a cumplir son:

- Objetivo de humedad → La mayor parte de los autores recomiendan un contenido de humedad de entre el 50 y 60%. Con esto como dato, conociendo la humedad de cada elemento de la mezcla a compostar, se aplica la siguiente fórmula.

$$G = \frac{(Q_1 * M_1) + (Q_2 * M_2) + (Q_3 * M_3) + (Q_4 * M_4)}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (1)$$

donde:

G: Humedad objetivo (%)

Q_n : Masa del material (n)

M_n : Contenido de humedad del material n (%)

- Objetivo relación C/N → Conocido el contenido en N y C de cada elemento de la mezcla, sabiendo que la relación C/N óptima es del 30 %, se puede emplear la siguiente fórmula:

$$R = \frac{Q_1 * (C_1 * (100 - M_1)) + Q_2 * (C_2 * (100 - M_2)) + Q_3 * (C_3 * (100 - M_3)) + Q_4 * (C_4 * (100 - M_4))}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (2)$$

donde:

R: Relación C/N objetivo → $C(\%) = N(\%) * C/N$

C_n : Carbono (%) del material n



N_n : Nitrógeno (%) del material n

M_n : Contenido de humedad (%) de n

Se tienen, por tanto, dos ecuaciones, una para la humedad y otra para la relación carbono/nitrógeno, es decir, que sabiendo la cantidad (%) de carbono y nitrógeno de cada ingrediente, así como las cantidades de todos menos dos, puede obtenerse combinando las ecuaciones anteriores la cantidad a aportar de cada uno de ellos para obtener la mezcla que queremos (una mezcla cuya humedad sea del 60% y su relación de C/N de 30).

El caso de estudio se trata de una mezcla de cuatro ingredientes: Alperujo + urea + paja + hojas y restos de poda. Por lo tanto, conocido el contenido en carbono y nitrógeno de todos ellos, así como la cantidad de alperujo, de hojas más restos de poda, el modelo permite calcular la cantidad de urea (Q_3) y de paja (Q_4), de la forma:

$Q_3 = \frac{D}{E} \quad Q_4 = \frac{F}{E} \rightarrow$ Sustituyendo en las dos ecuaciones anteriores y resolviendo el sistema de ecuaciones puede despejarse D, E y F; conociendo así la cantidad de urea y paja que se necesita adicionar.

4.4. DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA

Para poder hacer propuestas de mejora que solucionen los problemas actualmente existentes en la planta de compostaje de Coto Bajo, es necesario en primer lugar realizar un diagnóstico de la situación actual que permita identificar y cuantificar dichos problemas.

A priori, el principal problema de esta planta es que, al estar al aire libre, las eras de compostaje actúan como “pequeñas cuencas” que captan el agua de lluvia de una gran superficie. Dicha agua, al mezclarse con la masa (mezcla) que se encuentra en alguna de las fases del compostaje, se contamina, pasando a convertirse en lixiviado que no puede ser vertido al cauce público y, por tanto, tiene que evaporarse en las balsas de lixiviados junto con el agua que estas mismas reciben directamente de la lluvia. Además, hay que tener en cuenta que la masa es un material poroso (asemejable al suelo) y, por lo tanto, tiene capacidad para retener el agua en su matriz; agua que puede ser posteriormente lixiviada o evaporada desde la propia mezcla.



Por todo lo anteriormente comentado, se han desarrollado dos hipótesis para realizar el diagnóstico de capacidad de la planta para el almacenamiento de lixiviados:

- Hipótesis 1 → “Balance de agua”, en la se suponen las dos eras o plataformas de compostaje vacías (sin mezcla para el co-compostaje). El agua de lluvia que la era recibe por lluvia directa a lo largo de un día, se acumula instantáneamente en la balsa de lixiviados correspondiente.
- Hipótesis 2 → Se considera que hay una determinada cantidad de mezcla en las eras; por lo tanto, parte del agua de lluvia que cae a lo largo de un día en la era es retenida por la masa y nunca llega a la balsa de lixiviados correspondiente, puesto que se evaporará lentamente desde la mezcla en días posteriores.

En la planta de compostaje se distinguen dos sistemas independientes uno de otro: el sistema 1, que se constituye por la era/plataforma 1 que vierte por gravedad sus lixiviados a la balsa 1, y el sistema 2, que es el formado por la era/plataforma 2 que vierte sus lixiviados a la balsa 2.

4.4.1. Balance de agua

La hipótesis de balance de agua consiste en realizar un balance de la misma en la totalidad de la planta y determinar qué capacidad tienen sus instalaciones para almacenar lixiviados (distinguiendo los dos sistemas independientes anteriormente definidos). O bien, comprobar si la planta está correctamente diseñada para poder funcionar adecuadamente en un año con unas condiciones climáticas de diseño que se consideren aceptables. La escala de trabajo es fundamental en este tipo de estudios, puesto que el conjunto “planta de compost” puede funcionar o no para un mismo valor de pluviometría anual. Esto es debido a que resulta fundamental conocer la distribución mensual de la precipitación ya que, desde el punto de vista de la capacidad de la planta para almacenar lixiviado la estacionalidad o no de la precipitación anual condiciona la funcionalidad del sistema, ya que la única salida es la evaporación.



Por tanto, dar un valor de precipitación anual máxima para las balsas de lixiviados de la planta tendrían capacidad no es tarea sencilla, puesto que influyen otros factores como es la distribución a escala mensual y a escala diaria de las precipitaciones, así como la evaporación anual y su distribución a escala mensual y diaria. Por ello, se ha optado por ver si la planta funciona correctamente en un año con unas características climatológicas de diseño aceptables para este tipo de instalaciones.

Las suposiciones principales de la hipótesis 1 son:

- La escala más adecuada para el balance es la mensual, que es el método empleado para todo tipo de balsas en general, ya que la diferencia en la precisión con respecto al cálculo diario es totalmente despreciable.

- Las eras o plataformas no contienen nada de mezcla, por lo tanto, no hablamos de lixiviado sino de agua pluvial.

- Las balsas recogen el agua de lluvia de su era correspondiente y la que reciben por lluvia directa. En el sistema 1, la balsa 1 recibe el agua de lluvia que recoge la era 1 más la que la propia balsa recoge por lluvia directa. En el sistema 2, la balsa 2 recibe el agua que proviene de la era 2 más la que la propia balsa recoge de la lluvia.

- La evaporación sólo tiene lugar en las balsas puesto que en las plataformas no se acumula el agua.

- La evaporación en las balsas es igual a la ET_0 puesto que se trata de una superficie libre de agua. En las eras/plataformas no se acumula agua y por tanto, la evaporación en las mismas es nula.

- A primeros de septiembre se vacían y limpian las dos balsas de lixiviados, de modo que comienza un nuevo año hidrológico con la totalidad de la capacidad de las balsas disponible para almacenar los lixiviados.

Observando el plano de las instalaciones (Anejo 2), se puede deducir que existe un cuello de botella en la instalación de compostaje, correspondiente con la eliminación de los lixiviados, ya que se tiene una gran superficie captadora de agua y una superficie evaporadora mucho menor.



4.4.2. Balance completo

Esta hipótesis es muy similar a la anterior; la diferencia está en que el balance completo tiene en cuenta que en las eras existen cantidades significativas de un material poroso (mezcla para el co-compostaje), que tiene capacidad de retener parte del agua de lluvia y, por lo tanto, no toda la cantidad “x” de lluvia en un día va a alcanzar la balsa de lixiviados correspondiente (Figura 15). Dicha agua, que es retenida por la masa, será posteriormente evaporada cuando cesen las lluvias y se eliminará en mayor o menor cantidad, y en un tiempo determinado, en función de las condiciones climatológicas.

Esto hace que la hipótesis 2 sea menos desfavorable que la 1 desde el punto de vista de dimensionado, aunque más realista; de ella se deduce que a más masa a compostar, más agua de lluvia será retenida. En definitiva, lo que hace la masa es incrementar la superficie de evaporación haciendo que no sólo sea la de la balsa de lixiviados correspondiente (que es lo que sucedía en la hipótesis 1), además de ralentizar la permanencia y con ello la cantidad evaporada. Es decir, la entrada por precipitación es la misma que en la hipótesis 1 pero la salida por evaporación es mayor.



Figura 15. Fotografía de la mezcla para el co-compostaje que se encuentra en la era/plataforma 1. Fotografía realizada en diciembre de 2015.



Las suposiciones principales de la hipótesis 2 son:

-La masa es un material poroso similar al suelo, de modo que cuando su humedad es inferior a la de saturación toda el agua que reciba la masa la infiltra hasta alcanzar la humedad en saturación. A partir de dicho punto, se ha supuesto la hipótesis más desfavorable, es decir, que toda el agua de lluvia que reciba la mezcla lixivie instantáneamente, lo que significa que toda esa agua se acumula en la balsa correspondiente.

-En la era que se encuentran las pilas (actualmente la era 2) no tiene sentido considerar esta hipótesis puesto que el volumen ocupado por la mezcla en relación al volumen total de la era es muy pequeño. Esto hace que la cantidad de agua que potencialmente podría interceptar la mezcla es muy poca y por tanto las diferencias con respecto a la hipótesis 1 son poco significativas. Por ello, sólo se considera esta hipótesis en el sistema que contiene los trojes (sistema 1 en la actualidad).

-La evaporación desde la mezcla es inferior a la ET_0 , porque ésta tiene cierta energía para retener el agua en sus poros. La evaporación en las balsas de lixiviados sí que siguen siendo igual a la ET_0 . En la mezcla se ha admitido como válida la siguiente hipótesis de cálculo,

$$ET_R = ET_0 * f \quad (3)$$

$$f = \frac{\theta_i}{\theta_{sat}} \quad (4)$$

donde:

- ET_R : Evapotranspiración real

- ET_0 : Evapotranspiración potencial del año diseño.

- θ_i : Humedad de la masa en el instante i

- θ_{sat} : Humedad en saturación de la masa



-A primeros de septiembre se vacía y limpia la balsa de lixiviados correspondiente.

Como ya se ha dicho, esta hipótesis es mucho menos desfavorable, pero tiene asociada una gran incertidumbre, porque no se tienen en cuenta los procesos químicos y biológicos del compostaje; el porcentaje que se evapora depende la humedad en saturación y, como la masa evoluciona, su humedad en saturación también cambiará, etc. Tampoco se tiene en cuenta que si llueve con una intensidad superior a la velocidad de infiltración de la masa, se generará escorrentía sobre la mezcla de tipo Horton.

4.5. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

El primer paso para poder realizar un cálculo de balance de agua es tener datos de precipitación (entradas) y de evapotranspiración (salidas). Para ello, se ha procedido en primer lugar a identificar las estaciones meteorológicas existentes en el entorno de la planta de compost de Coto Bajo. Para dar una mayor precisión y fiabilidad a los cálculos realizados, van a tenerse en cuenta varias estaciones (en lugar de únicamente los datos de la más próxima) para realizar la interpolación espacial; en este caso se ha utilizado el módulo meteorológico del modelo WiMMed (Polo *et al.*, 2009; Herrero *et al.*, 2011), con el que se calcula la precipitación y ET_0 correspondiente a la ubicación de la planta de compostaje.

4.5.1. Localización de las estaciones de interés

En la finca Coto Bajo no existe ninguna estación meteorológica y la que se encuentra más cerca de la misma pertenece a la red de estaciones secundarias de la AEMET, por lo que sólo tiene disponibles datos de precipitación y temperatura. Como se necesitan también datos de ET_0 , hay que incluir al criterio de búsqueda basado en la proximidad, un criterio basado en si la estación proporciona la ET_0 o al menos, variables suficientes para proceder a su cálculo.

En el término municipal de Guadalquivir y su entorno se observan varias estaciones (Figura 16) que pertenecen a 3 redes distintas:

- Red de Información agroclimática de Andalucía ([RIA](#)):

El principal de los objetivos con el que fue creada esta red de estaciones es el de permitir realizar una estimación de las necesidades de agua de los cultivos.



Proporciona desde el año 2001, a escala horaria y diaria los valores de las variables precipitación, humedad, temperatura del aire, radiación y viento (velocidad y dirección).

- Red de alerta de información fitosanitaria ([RAIF](#)):

Proporciona desde el año 2001 a escala horaria y diaria, información sobre las variables precipitación, humedad y temperatura del aire, radiación y viento (solo velocidad).

- Red de estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET):

La AEMET dispone de tres redes de observación meteorológica: la [Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas](#), la [Red de Estaciones Meteorológicas Completas](#) y la [Red de Estaciones Meteorológicas Secundarias](#). Estas se diferencian en función del número de variables observadas y en el carácter automático o manual de las mediciones. Son redes diseñadas fundamentalmente para los estudios meteorológicos y climatológicos, lo que se refleja en su buena distribución espacial por el territorio español y su larga serie de observaciones.

Las estaciones de esta red nacional son por tanto las que disponen de registros más antiguos, de hecho en algunos de los casos hay datos desde el año 1945. Las estaciones de la red secundaria miden principalmente, precipitación y temperatura.

Las estaciones de la RIA proporcionan directamente los datos de ET_0 a escala diaria, en cambio las de la RAIF no, pero sí que miden suficientes variables como para poder calcular ET_0 a partir de las mismas. Hay que tener en cuenta que los datos de ET_0 proporcionados por las estaciones no son datos medidos, sino calculados usando el método Penman-Monteith-FAO.

Las tres estaciones más cercanas a la planta de compost que miden ET_0 o variables climáticas suficientes para calcularla son (Figura 16): RAIFC009 (Guadalcázar), RIA1404 (Hornachuelos) y RIA1406 (Córdoba).

En dichas estaciones se obtienen los datos climáticos de los años hidrológicos del periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 (14 años hidrológicos).

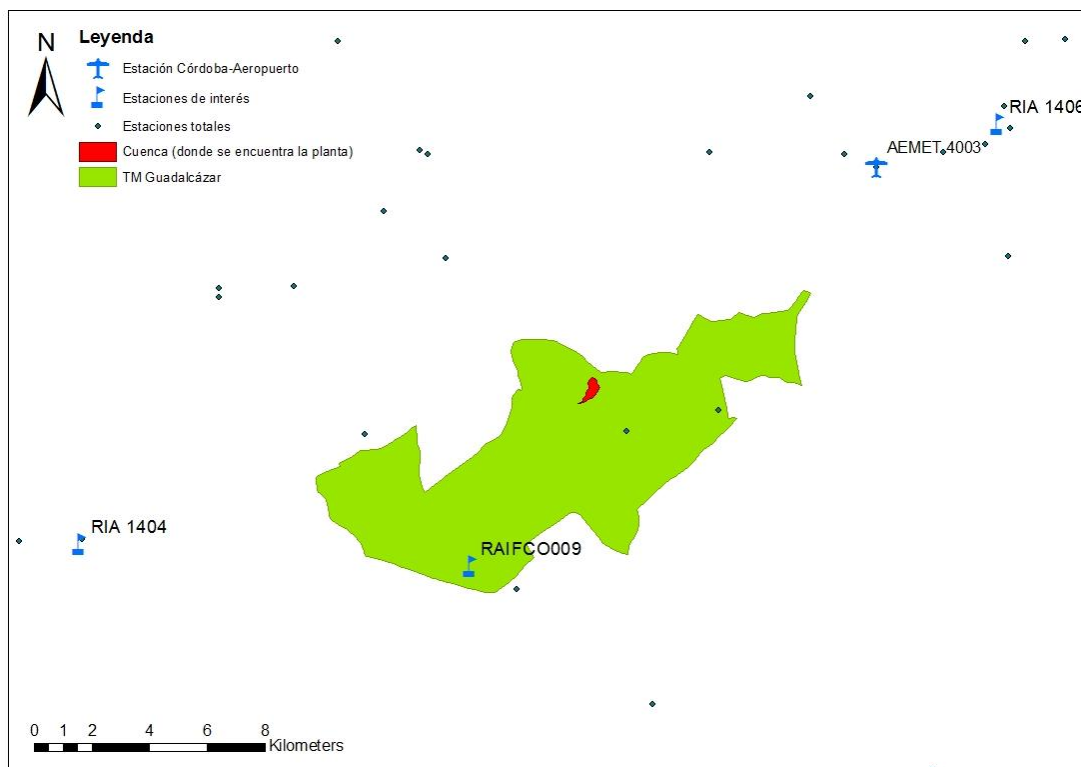


Figura 16. Localización de las estaciones del entorno y de las estaciones elegidas para este estudio

Una vez seleccionadas las estaciones de interés, previamente a la interpolación espacial de las mismas, es necesario realizar un análisis de correlación de sus datos (Anejo 4).

4.5.2. El modelo WiMMed

El modelo WiMMed (*Water Integrated Management of Mediterranean Watersheds*) (Polo *et al.*, 2009; Herrero *et al.*, 2011) es un modelo hidrológico distribuido de base física que permite incorporar algoritmos de interpolación espacial de las variables meteorológicas seleccionados para cuencas mediterráneas. Como los datos disponibles se encuentran puntualmente repartidos y a la escala temporal de registro de cada estación, el primer paso que realiza el modelo es el de generar a partir de dichos registros puntuales, sus valores distribuidos temporal y espacialmente.

WiMMed se compone de una serie de módulos que realizan una serie de cálculos que le son propios. Para el caso de este trabajo el módulo de meteorología es el de interés. El modelo meteorológico requiere como datos de entrada el modelo digital de elevaciones



de la zona de estudio y los datos de las siguientes variables meteorológicas (todas ellas necesarias para el cálculo de la ET_0 por Penman-Monteith):

- Precipitación diaria (mm)
- Temperatura diaria (mm)
- Radiación solar (mm)
- Velocidad del viento (mm)
- Humedad relativa (mm)

La distribución de las variables meteorológicas la realiza el modelo mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW2) con respecto a las 3 estaciones más cercanas calculando un valor para cada uno de los píxeles del modelo digital de elevaciones en la región que se le indique. En este caso, se ha definido una región de un píxel (5 x 5 m) ubicado en el centro de la planta de compostaje de Coto Bajo (Figura 17). Así el modelo calcula el valor de cada variable correspondiente a dicho punto teniendo en cuenta las tres estaciones anteriormente comentadas y empleando el método de distribución espacial (IDW2).



Figura 17. Ubicación del punto (píxel de 5x5 m) para el cual se ha calculado la P y ET_0 que le corresponde teniendo en cuenta las 3 estaciones seleccionadas.

La evapotranspiración potencial (ET_0) no es un dato de entrada a WiMMed sino que el modelo, una vez ha llevado a cabo la distribución espacial de cada variable, la calcula mediante el método Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998). Por lo tanto, para la distribución de los datos de ET_0 no se emplea un algoritmo de interpolación espacial porque ésta viene ya implícito en los datos de los que se deriva (Anejo 4).

4.5.3. Ampliación artificial de la serie de datos medidos de precipitación.

Como ya se ha comentado anteriormente, los datos de las variables medidos en las estaciones tienen una extensión de 14 años (del 01/09/2001 al 31/08/2015), número de años que no es suficiente para caracterizar un clima tan variable a escala mensual e interanual como es el clima mediterráneo, si bien capta un ciclo climático asociado a la actividad solar.

Dicho clima se caracteriza por una gran variabilidad pluviométrica, por ello se ha decidido ampliar artificialmente la serie de datos medidos (los calculados para el punto



anteriormente definido a partir de los datos de las 3 estaciones seleccionadas) empleando para ello los datos de precipitación registrados en la estación Córdoba-Aeropuerto, obteniendo así una serie más extensa. Dicha estación está a escasos 12 km de la planta de compostaje de Coto Bajo y a 4 km de la estación RIA 1406 (la cual es una de las 3 que se ha seleccionado), por lo cual es lógico que sus datos deben ser muy similares tal y como se demuestra en los resultados de este trabajo (5.2.2.1).

La estación de Córdoba-Aeropuerto pertenece a la red de estaciones secundarias de la AEMET y tiene disponibles datos registrados de precipitación y temperatura desde el año 1.945; representando los datos de precipitación de Córdoba-Aeropuerto frente a los calculados para la planta, puede ajustarse a los mismos una recta, cuya ecuación permite calcular la precipitación mensual correspondiente a la planta de compostaje a partir de los datos de precipitación mensual de Córdoba-Aeropuerto. Esto no es posible realizarlo para ET_0 puesto que la estación de Córdoba-Aeropuerto no mide variables como para poder calcularla, pero tampoco es necesario porque la ET_0 a escala anual no es tan variable como la precipitación; así, quedándonos solo con los datos de los últimos 14 años tenemos una fiabilidad similar a la que alcanzamos considerando una serie mucho más amplia en el caso de la precipitación.

4.5.4. Año de diseño

A partir de los datos de precipitación y ET_0 a escala mensual se ha procedido a calcular un percentil extremo de diseño, el cual se ha fijado en un 90%, con el que se ha obtenido un valor de precipitación anual y otro de ET_0 anual. Como ya se comentó con anterioridad, el balance tanto en la hipótesis 1 como en la hipótesis 2, requiere de los datos climáticos a escala mensual; por tanto, es necesario distribuir esos datos climáticos para cada uno de los meses del año.

Hay que tener presente que son infinitas las combinaciones posibles de precipitación mensual que proporcionan un mismo valor de precipitación anual. El clima Mediterráneo se caracteriza en términos generales por los inviernos lluviosos y los veranos secos y por tanto la precipitación durante los meses estivales presenta poca variabilidad anual, no siendo así para el resto del año; en el resto de meses la precipitación mensual es muy variable para cada uno de los años de una serie. Para este trabajo se ha decidido distribuir la precipitación anual de diseño según la media mensual de precipitación en el conjunto de años de la serie; lo mismo se ha hecho para la



evapotranspiración. Es decir, se calcula en primer lugar qué porcentaje de precipitación y ET_0 con respecto al total anual de cada año ha tenido lugar en cada uno de los meses del mismo y, posteriormente, se realiza la media para cada mes en toda la serie. Se obtiene así un valor porcentual medio.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ZONA DE POLICÍA

Para calcular qué parte de la zona de policía intersecciona con las instalaciones de la planta de compostaje es fundamental conocer el cauce. Pero, precisamente, en dicha zona no existe el cauce en la actualidad; sólo puede observarse una suave depresión en el terreno (apartado 4.1.2.1.). Por tanto, para delimitar dicho cauce, este trabajo se basa en el modelo digital de elevaciones, teniendo en cuenta que, aunque éste posee muy buena resolución espacial, al estar trabajando a pequeña escala introduce errores como el que se puede apreciar en la Figura 18. En ella se observa que el cauce obtenido a partir del MDE no coincide con la cárcava que se aprecia en la foto (y que puede verse a pie de campo hoy en día).



Figura 18. Error de cálculo del cauce a partir del Modelo Digital de Elevaciones de 5x5 m de resolución espacial

Por lo tanto, no sólo se ha tenido en cuenta el MDE para la demarcación del cauce en la zona en la cual éste ha desaparecido, sino que también se han seguido otros criterios como la observación de las ortofotos históricas.

Una vez delimitado el cauce innominado, considerando el mismo como un arroyo, la parte coincidente de la zona de policía puede observarse en la imagen (Figura 19):

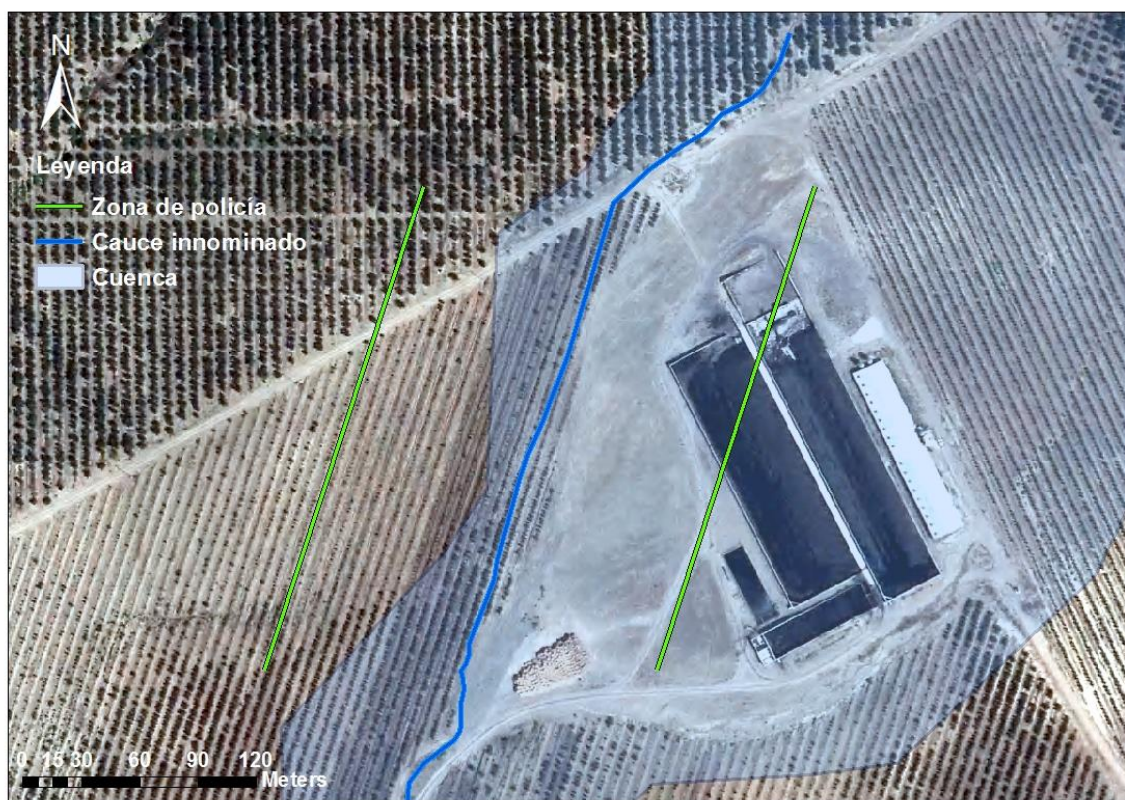


Figura 19. Demarcación del cauce y de su zona de policía según el RDPH.

Tal y como muestra la Figura 19, la zona de policía afecta principalmente a la era 1, abarcando al 29,1 % de su superficie (Tabla 5). Es decir, la superficie de la era 1 que no se encuentra en zona de policía es de 3.971 m^2 (superficie útil).

	Superficie total (m^2)	Superficie útil* (m^2)	Se reduce (%)
Era/plataforma 1	5.600	3.971	29,1
Era/plataforma 2	4.800	4.782	0,4

Tabla 5. Superficie útil en las eras tras descontar la parte incluida en la zona de policía del cauce innominado según establece el RDPH.

*Por superficie útil se entiende aquella que está disponible en la era para compostar tras eliminar la parte de la misma incluida en la zona de policía.

Una vez calculada la superficie de cada era que está dentro de la zona de policía se procede a su inhabilitación. La inhabilitación pretende adecuar la planta de modo que



sólo se opere en la parte de la misma que está fuera de la zona de policía, cumpliendo además con las siguientes prescripciones:

- La obra a realizar sea la mínima posible de modo que ésta no lastre la restructuración de la planta.
- El coste sea el mínimo
- Impida que las aguas de lluvia que reciban la parte de las plataformas que está en zona de policía acaben acumulándose en las balsas de lixiviados, ya que el agua de lluvia puede evacuarse directamente a la red natural de pluviales.

Según todo ello, se propone la construcción de un murete (tipo bordillo) de unos 20 cm de altura (la cual se considera suficiente para que no sea rebasada por el agua de lluvia acumulada), recubierto de una lámina impermeabilizante que impida cualquier tipo de filtración hacia la zona en la que se trabaja con la mezcla a compostar. Además, es necesaria la construcción de un desagüe en cada una de las eras para evitar que se acumule el agua y termine por desbordar sobre el murete, pasando a entrar en contacto con la mezcla (Figura 20) lo que convertiría dicha agua en lixiviado potencial. El agua de lluvia fluiría hacia el desagüe por gravedad.

En la Figura 20 se puede también observar que la inhabilitación de la zona de policía hace que ahora la era/plataforma más extensa sea la 2 y no la 1. Por ello, existe ahora un mayor volumen disponible para compostar en la era 2 que en la 1. Así, dado que la era 2 vierte a la balsa de más capacidad (balsa 2), se propone en el presente trabajo que pasen a realizarse los trojes en la era 2 (en lugar de en la 1) y las pilas en la era 1 (en lugar de en la 2). De esta manera, el volumen máximo a compostar que admite la planta sería mucho mayor.



Figura 20. Superficie útil de las eras tras inhabilitar la parte coincidente con la zona de policía del cauce innominado.

5.2. REAJUSTE DEL PROCESO DE COMPOSTADO. ADECUACIÓN A LA SUPERFICIE ÚTIL

Una vez conocida la superficie útil de cada era/plataforma (la que se halla fuera de la zona de policía), asumiendo que los trojes pasan a realizarse en la era 2 por tener ésta una superficie útil mayor (ver apartado 5.1.), se procede a comprobar si realizando la mezcla para el co-compostaje usando urea como fuente de nitrógeno (ver apartado 2) hay capacidad suficiente para poder compostar los 7.000 Mg de alperujo que anualmente se generan en las almazaras de Coto Bajo.



5.2.1. Diseño de la nueva mezcla para el co-compostaje. Comparación entre el volumen necesario y el volumen disponible.

Lo primero que se observa al calcular la mezcla óptima mediante el modelo desarrollado por la Universidad de Cornell (apartado 4.3.1.) con urea, paja, hojas y restos de poda para 7.000 Mg de alperujo es que se necesitan grandes cantidades de hojas, restos de poda y paja sólo y exclusivamente para disminuir el contenido de humedad de la mezcla y alcanzar un valor de 60 % (objetivo de humedad en el diseño de la mezcla inicial tal y como se argumentó en el apartado 4.3.). Esto es debido a que el alto contenido de la urea en nitrógeno hace que sea necesaria una muy pequeña porción de la misma en la mezcla; esto en sí es de interés, puesto que la urea es el único componente de los cuatro que no es un subproducto, y supone un coste de explotación. Por tanto, es imprescindible admitir la necesidad de reducir la humedad del alperujo generado en las almazaras hasta el 63% (su humedad media era de 70,1% tal y como se recogía en la tabla 2). Esto fue fácilmente aceptado por los técnicos de Coto Bajo, quienes afirmaron que en las almazaras puede forzarse el sistema para que el alperujo salga con una humedad inferior al 70,1 %, sin problema alguno.

Ha sido necesario también suponer una determinada cantidad de hojas y restos de poda que se desean incluir en la mezcla ya que, como se comentó en el apartado 4.3.1. (base matemática del modelo), el modelo necesita las cantidades de dos ingredientes. Mediante un proceso iterativo manual de ajuste se ha determinado una cantidad óptima igual a 880 Mg a escala anuales.

Como priorización básica para el cálculo iterativo se ha establecido lo siguiente:

- Tratar de aumentar al máximo posible la cantidad de hojas y restos de poda en detrimento de la paja. Ambas tienen como función principal reducir el contenido de humedad de la mezcla y desde dicho punto de vista interesa más la paja porque tiene menos humedad (apartado 4.2.4.2).

- Procurar que la mezcla ocupe el mínimo volumen posible. Así pues, interesa también más la paja que las hojas y los restos de poda, porque la densidad de la paja es la mitad que la de éstos últimos (apartado 4.2.4.2.).



-En contraposición a lo anterior, hay que tener en cuenta que se disponen de grandes cantidades de paja en Coto Bajo en la actualidad, pero terminará agotándose haciendo imprescindible su adquisición externa.

-También hay que tratar reducir al mínimo la urea necesaria. Se ha observado que al incrementar el contenido en hojas y restos de poda de la mezcla baja la cantidad necesaria de la misma.

Buscando el equilibrio entre los criterios anteriormente comentados, se ha determinado que para compostar 7.000.000 kg de alperujo hacen falta 11.011,5 m^3 de capacidad útil. La era 2 tiene una superficie fuera de la zona de policía de 4.782 m^2 (superficie útil); considerando un pasillo para el paso de la maquinaria de 4 m de anchura y de longitud igual a la de la era (160 m), dicha superficie se reduce hasta 4.142 m^2 . Considerando que los trojes pueden alcanzar una altura de 2,8 m (de los 3 m que tienen los muros de la era 1), la capacidad total (volumen disponible) es de 11.597,6 m^3 . Por lo tanto, es posible compostar 7.000.000 kg de alperujo en dicha superficie, y sobran aún 586,1 m^3 que servirían de margen de seguridad (que en planta equivalen a 209 m^2).

Las características de la nueva mezcla se recogen a continuación (Tabla 6):

Ingrediente	Cantidad (Mg)	Volumen (m^3)	% en peso	% en volumen
Alperujo	7.000	6.542,06	88,75 %	59,41 %
Hojas + restos de poda	880	4.400	11,16 %	39,95%
Urea	1,39	1,74	0,018 %	0,015 %
Paja	6,78	67,76	0,086 %	0,615 %

Tabla 6. Mezcla para el co-compostaje diseñada en base al modelo desarrollado por la Universidad de Cornell (Richard y Trautman, 1996) para 7.000.000 kg de producción anual de alperujo



La mezcla de diseño (Tabla 6) cumple con los objetivos de poder compostar los 7 millones de kg de alperujo (la producción de alperujo anual que se estima para Coto Bajo), ocupando el mínimo volumen, minimizando al máximo la urea (por su coste); maximizando la cantidad de las hojas + restos de poda y minimizando la paja (porque su disponibilidad es limitada). La mezcla se ha ajustado para que su humedad inicial sea del 60 % y su relación carbono/nitrógeno igual a 30 (Díaz, 1999).

5.2.2. Precipitación y ET_0 del año de diseño.

Para poder calcular los balances definidos como (hipótesis 1 e hipótesis 2) es necesario determinar previamente un valor de diseño de precipitación y otro de evapotranspiración ambos a escala anual. Dichos valores hay que distribuirlos mensualmente de modo que pueda realizarse el balance a escala mensual. La determinación del año de diseño se ha realizado siguiendo el procedimiento y las consideraciones establecidas en el apartado 4.5.4.

5.2.2.1. Precipitación (P)

En la figura 21 se observa la pluviometría anual calculada a partir de los datos de 3 estaciones para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compostaje (apartado 4.5.2.). La precipitación fue muy variable a lo largo de los 14 años, variando ésta desde apenas 100 mm del año hidrológico 2004-2005 y a casi 1.000 mm de lluvia del año 2009-2010. Además, dicha serie incluye dos años consecutivos especialmente lluviosos (2009-2010 y 2010-2011).

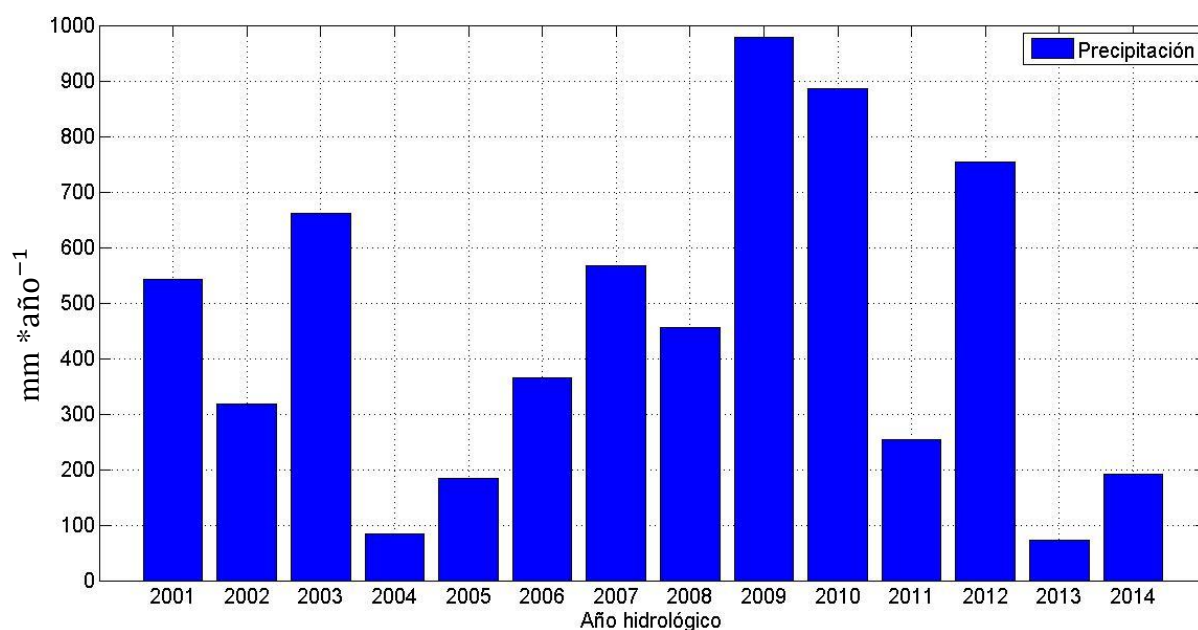


Figura 21. Precipitación anual (año hidrológico) en la serie de 14 años, calculada para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compostaje a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)

Para llevar a cabo la ampliación de la serie de datos de precipitación se ha empleado la serie de datos de precipitación mensuales de la estación Córdoba-Aeropuerto. Dicha serie se tiene datos disponibles desde enero de 1945 hasta diciembre de 2011. Por tanto, el periodo coincidente de datos entre la serie de la finca y la serie de Córdoba-Aeropuerto, es el comprendido entre septiembre de 2001 a agosto de 2011 (un total de 9 años hidrológicos completos).

El ajuste puede observarse en la figura 22, donde se pone de manifiesto que la serie de Córdoba-Aeropuerto presenta valores inferiores a los de la serie estimada en la finca. Esto puede apreciarse en la gráfica donde la recta del ajuste se encuentra por debajo de la recta de pendiente 1:1.



Los datos se ajustan a una recta con un $R^2 = 0,781$. La ecuación de la recta es la siguiente:

$$y = 0,8726x - 3,2834$$

donde:

-y: Precipitación mensual (mm) en la finca

-x: Precipitación mensual en Córdoba-
Aeropuerto (mm).

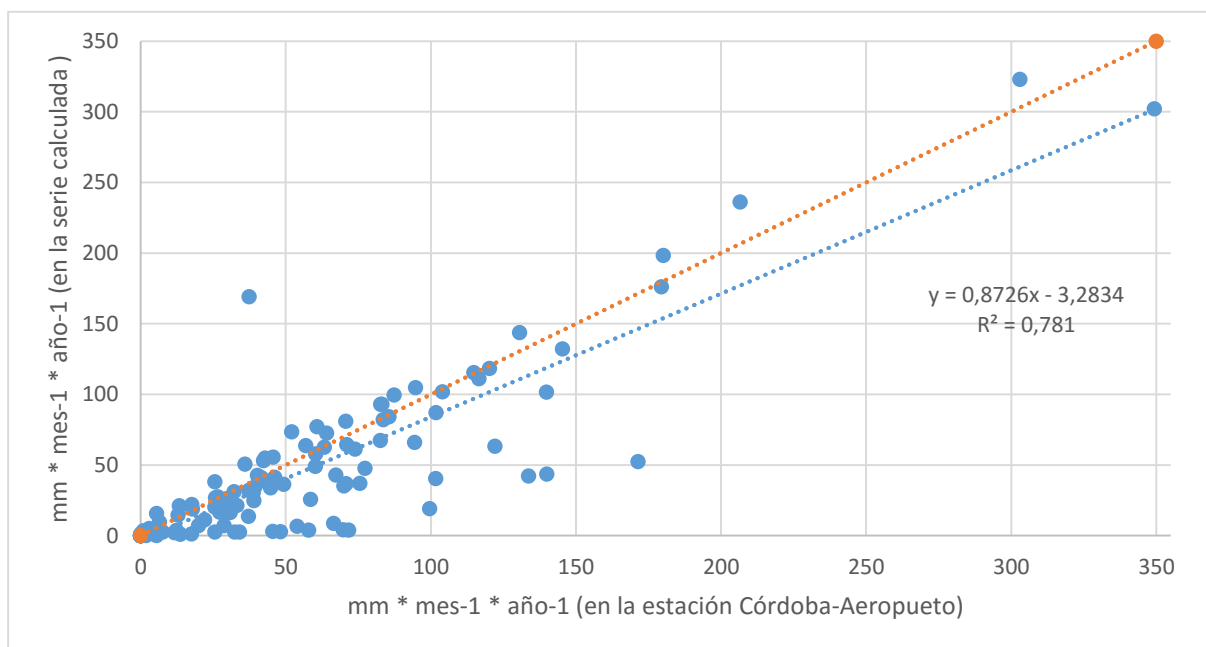


Figura 22. Datos de precipitación registrados en Córdoba-Aeropuerto frente a los calculados para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compost a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)

Empleando la ecuación anterior se logra tener una serie de datos de precipitación a escala mensual en la planta de compostaje de Coto Bajo (píxel ubicado en su centro) correspondiente a 70 años (Figura 23).

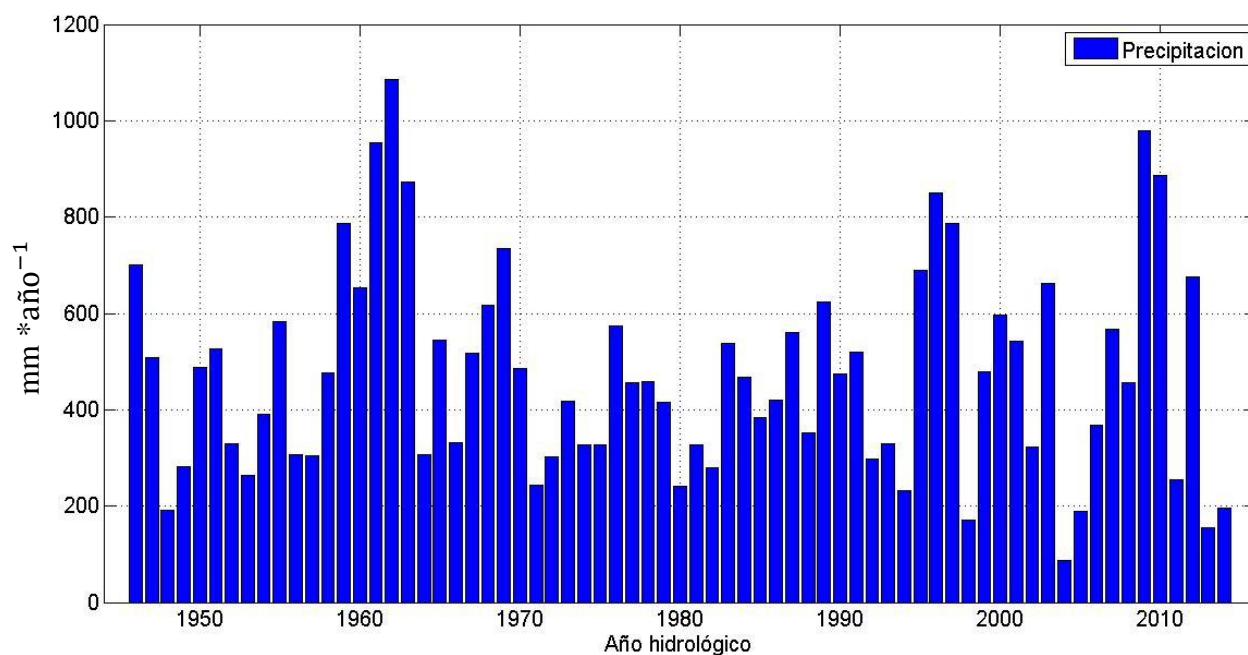


Figura 23. Precipitación por año hidrológico en la planta de compostaje del 01/09/1945 al 31/08/2015. Serie ampliada a partir de la de 14 años usando la ecuación que la correlaciona con los datos de la estación Córdoba-Aeropuerto.

La media anual en la serie ampliada es de 475 mm, valor coherente para la zona de estudio; no obstante, un valor medio no es suficiente puesto que en este clima es muy fácil que se superen los valores medios de pluviometría, debido a la gran variabilidad que anteriormente se comentó. Es necesario, por tanto, tomar un valor de pluviometría anual correspondiente a un percentil de diseño, teniendo en cuenta que en este tipo de instalaciones no está contemplado el vertido bajo ningún supuesto que no sea el de accidente imprevisible. Por ello, dicho percentil se ha establecido en un 90 %, al cual le corresponde una lluvia anual de 786,5 mm.

A priori, dicho percentil puede parecer excesivo, pero si se observa la serie de 70 años (Figura 23), deja fuera años muy extremos que han tenido lugar durante este periodo.

La distribución mensual de los 786,5 mm realizada en base a la media puede observarse en la Figura 24. El porcentaje de precipitación que tiene lugar en un determinado mes de un determinado año es muy variable de unos años a otros, es decir, por ejemplo, en el caso de enero la precipitación media de enero en 70 años es de 57 mm, pero ha habido años donde la precipitación de enero ha sido de 0 mm (1981, 1983 y 1985). El valor máximo de enero en toda la serie se registró en 1972 cuando la precipitación de alcanzó 252 mm. Por ello existe una gran desviación en la serie.

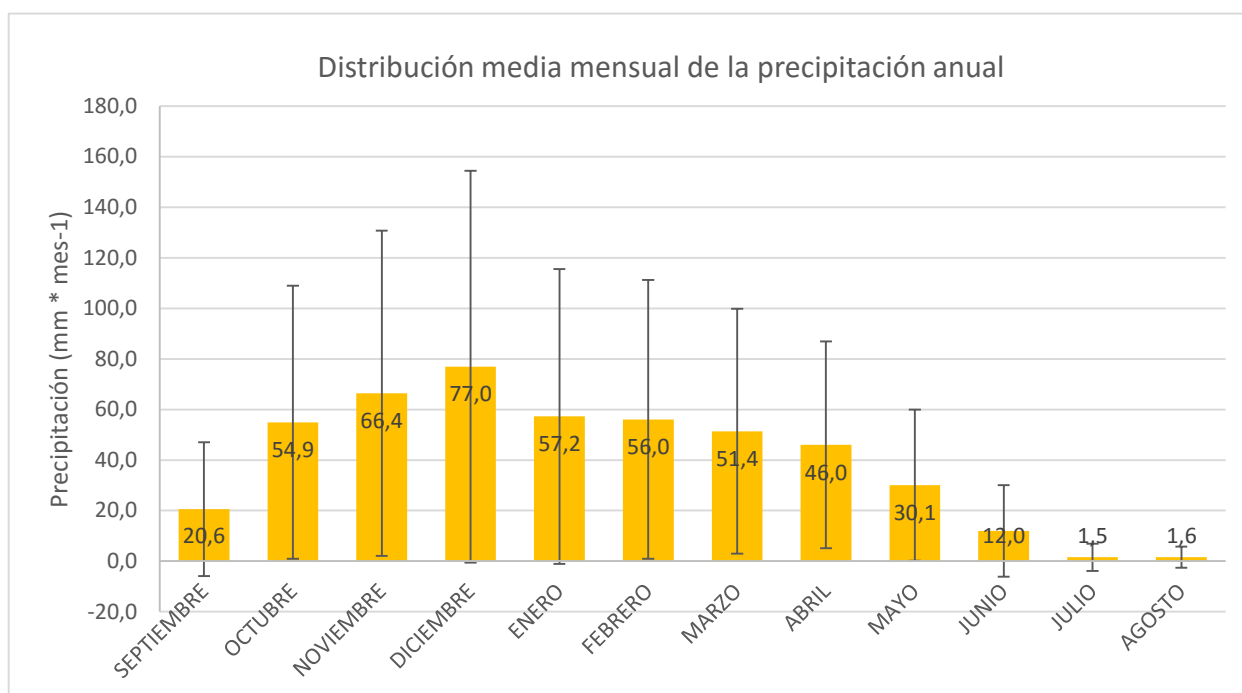


Figura 24. Precipitación de diseño (percentil 90%) distribuida a escala mensual y desviación estándar de la misma.

La gran desviación con respecto a la media que presenta la precipitación mensual en los distintos años, es otro de los motivos que justifica el percentil del 90%, pues garantiza un cierto margen de seguridad en el análisis efectuado.

5.2.2.2. Evapotranspiración potencial (ET_0)

La evapotranspiración potencial anual en la serie de 14 años presenta un valor medio de 1.287,3 mm. Dicha ET_0 se mantiene mucho más estable a escala interanual que la precipitación (Figura 25). Por lo tanto, para la ET_0 del año de diseño se ha tomado la media de la serie de 14 años disponible en la planta de compostaje a partir de las 3 estaciones seleccionadas

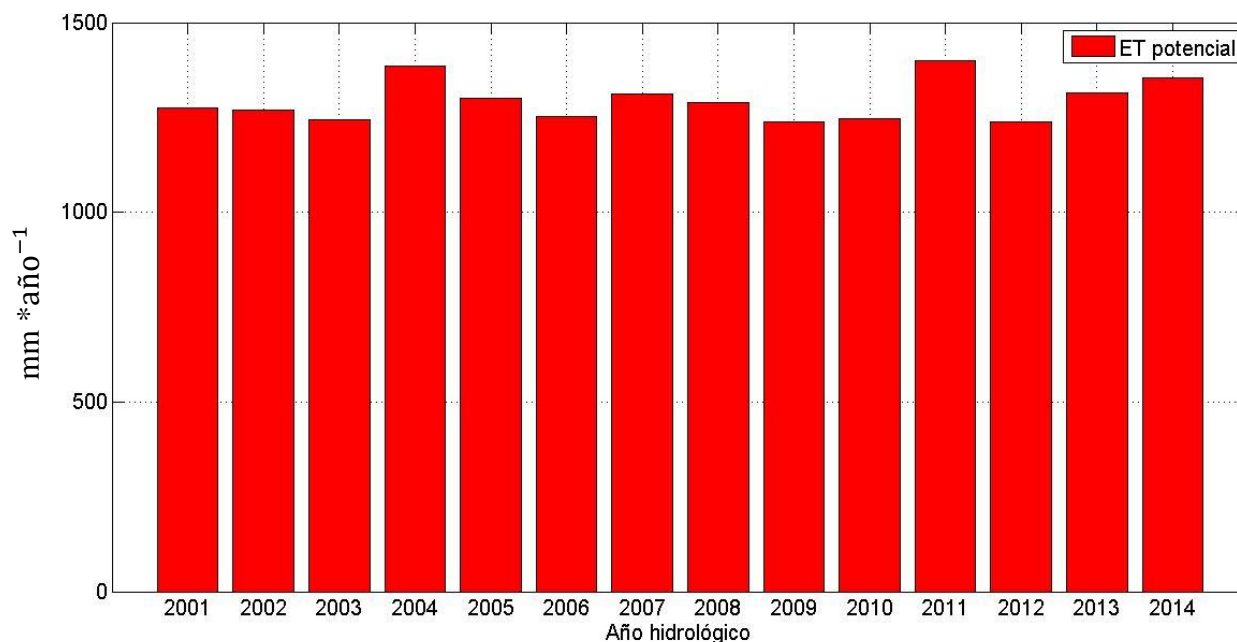


Figura 25. Evapotranspiración potencial anual en la serie de 14 años, es decir, la calculada para el píxel de 5x5 m ubicado en el centro de la planta de compostaje a partir de las 3 estaciones seleccionadas (apartado 4.5.1.)

Dicha semejanza a escala anual se manifiesta también a escala mensual. Por ello, la desviación estándar de cada mes presenta unos valores mucho menores que en el caso de la precipitación (Figura 26). Esto justifica que con la serie de 14 años pueda ser suficiente ya que, además, en el caso de la precipitación pretendían detectarse los valores máximos que son los que afectan más directamente a la ocurrencia hipotética de rebose de alguna de las balsas.

Por otro lado, cabe destacar también que no existen datos que permitan extender la serie de evapotranspiración, ni siquiera usando el método de Hargreaves, el cual está considerado el más sencillo por requerir un menor número de variables en relación al resto de métodos existentes.

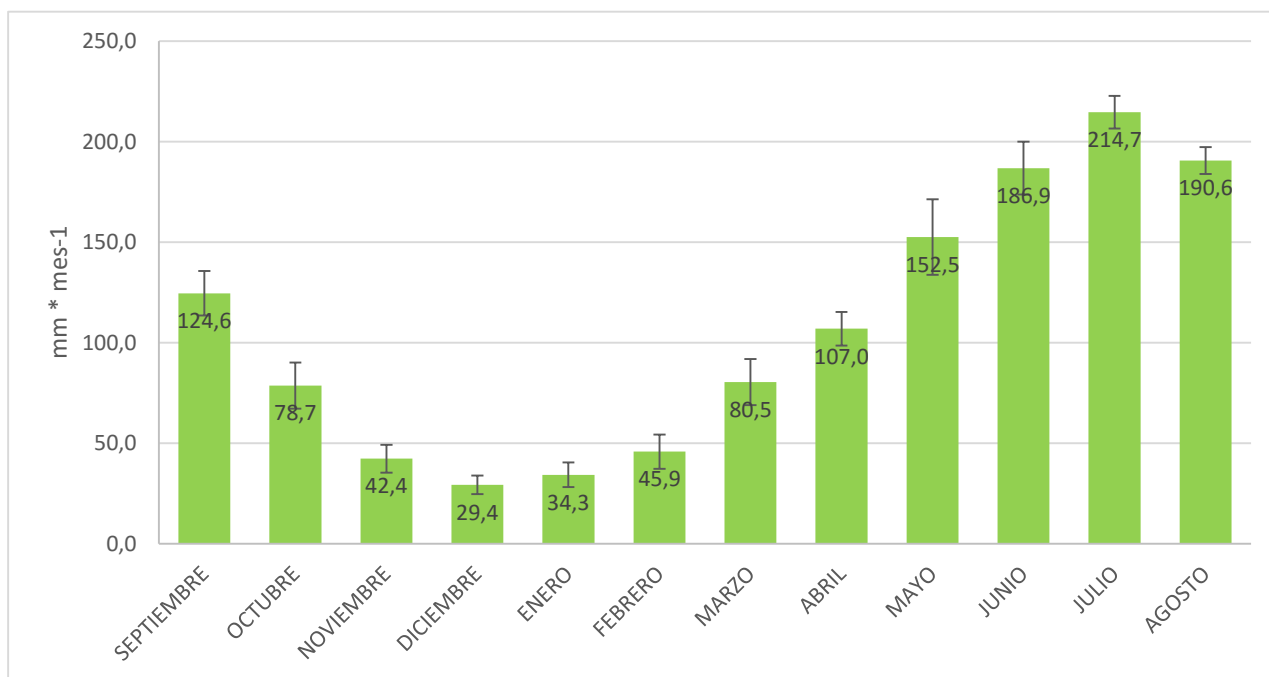


Figura 26. ET_0 del año de diseño distribuida a escala mensual y desviación estándar de la misma.

5.2.3. Hipótesis 1. Balance de agua.

Partiendo de los datos climáticos del año de diseño que se han calculado anteriormente, se procede a calcular el balance de agua siguiendo el procedimiento y asumiendo las consideraciones recogidas en el apartado 4.4.1.

5.2.3.1. Sistema 1 (era 1 y balsa 1)

En la figura 27 se observan los datos de precipitación (entradas) y evapotranspiración (salidas) a la balsa de lixiviados 1.

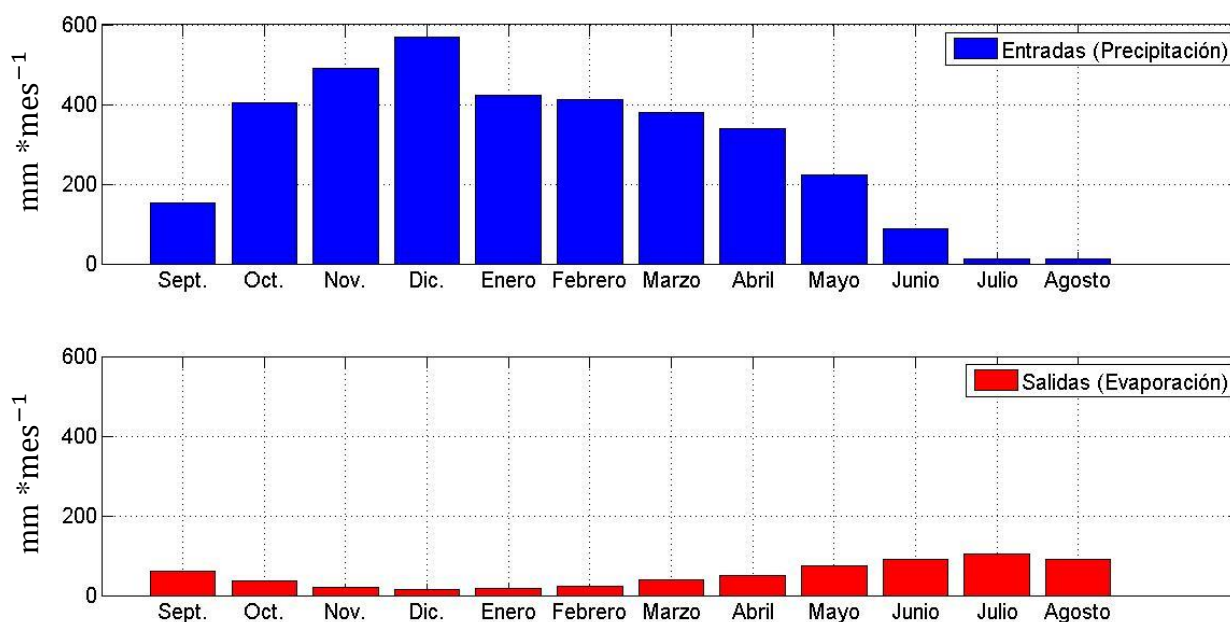


Figura 27. Entradas y salidas de agua al sistema 1. La entrada se realiza a través de la era 1 y la balsa 1 mientras que la salida sólo se produce a través de la balsa 1.

En la Figura 27 puede observarse la gran diferencia entre las entradas y salidas del sistema 1, lo cual se debe a que la superficie evaporadora es sólo la de la balsa, mientras que la captadora es la de la balsa más la de la era. El total de agua que recibe la balsa 1 es de $3.501,03 \text{ m}^3$ mientras que el total evaporado es de $617,90 \text{ m}^3$.

Con dicho balance, se obtiene que la balsa de lixiviados 1 debe de tener capacidad para almacenar el volumen máximo acumulado, el cual es de $3.055,96 \text{ m}^3$. Dicho volumen acumulado se alcanza en el mes de mayo, convirtiendo a éste en el más desfavorable. En cambio la capacidad de dicha balsa es de 1.050 m^3 por lo que existe un déficit de **2.006 m^3** (Figura 28).

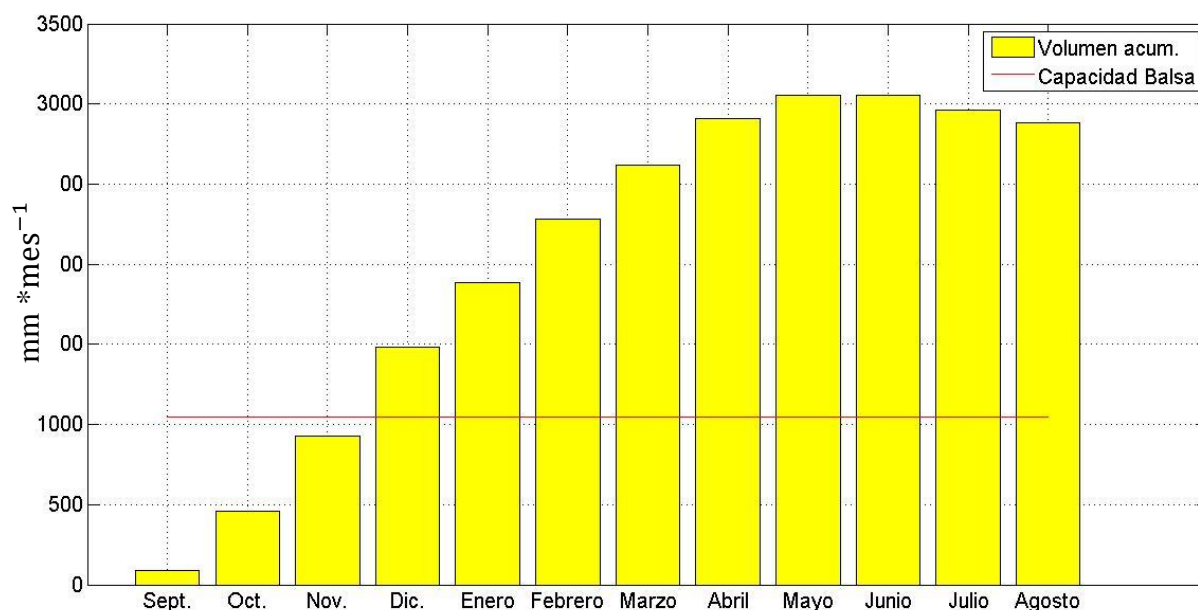


Figura 28. Volumen de agua acumulado en la balsa de lixiviados 1.

Observando las figuras se puede afirmar que el dimensionamiento del sistema no es correcto en un año con condiciones climatológicas similares al considerado, porque la balsa 1 es muy pequeña en relación a la superficie de la era (plataforma) que vierte en ella el agua. De hecho, ya en el mes de diciembre se supera la capacidad máxima de la misma. El volumen acumulado va creciendo durante todo el año y no alcanza su punto de inflexión hasta el mes de mayo, si bien hay que destacar que ni siquiera al terminar agosto el volumen almacenado se acerca a la capacidad máxima.

Se ha comprobado también que, desde que la planta de compost está en funcionamiento (año 2008), el sistema sólo habría funcionado (considerando el vaciado a primeros de septiembre) en los años más secos 2011-2012, 2013-2014 y 2014-2015, años en los que la pluviometría anual no ha superado en ningún caso los 250 mm (apartado 5.2.2.1).

5.2.3.2. Sistema 2. Era 2 y balsa 2

En el sistema 2 (Figura 29) el total de agua que la balsa 2 recibe es de $4.469,3 \text{ m}^3$ y el total evaporado es de $1.158,57 \text{ m}^3$. El sistema 2 recibe más agua por precipitación

que el 1 porque la superficie útil de su era es mayor, y su balsa también lo es; por ello, la evaporación de este sistema es superior a la del 1.

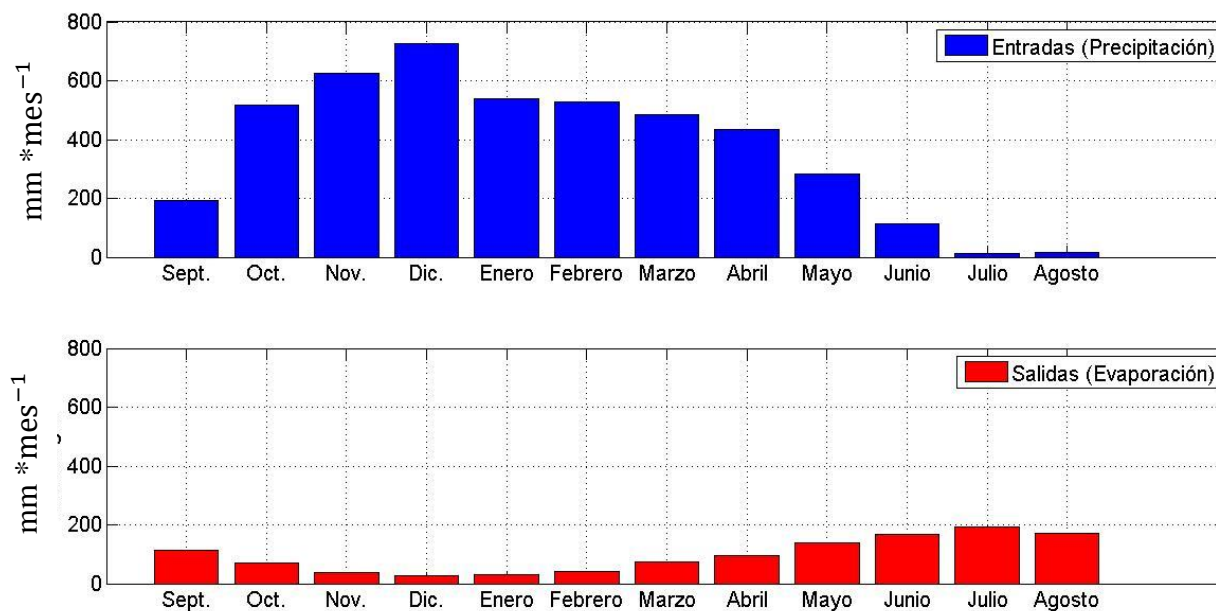


Figura 29. Entradas y salidas de agua al sistema 2. La entrada es a través de la era 2 y la balsa 2 mientras que la salida sólo se produce a través de la balsa 2.

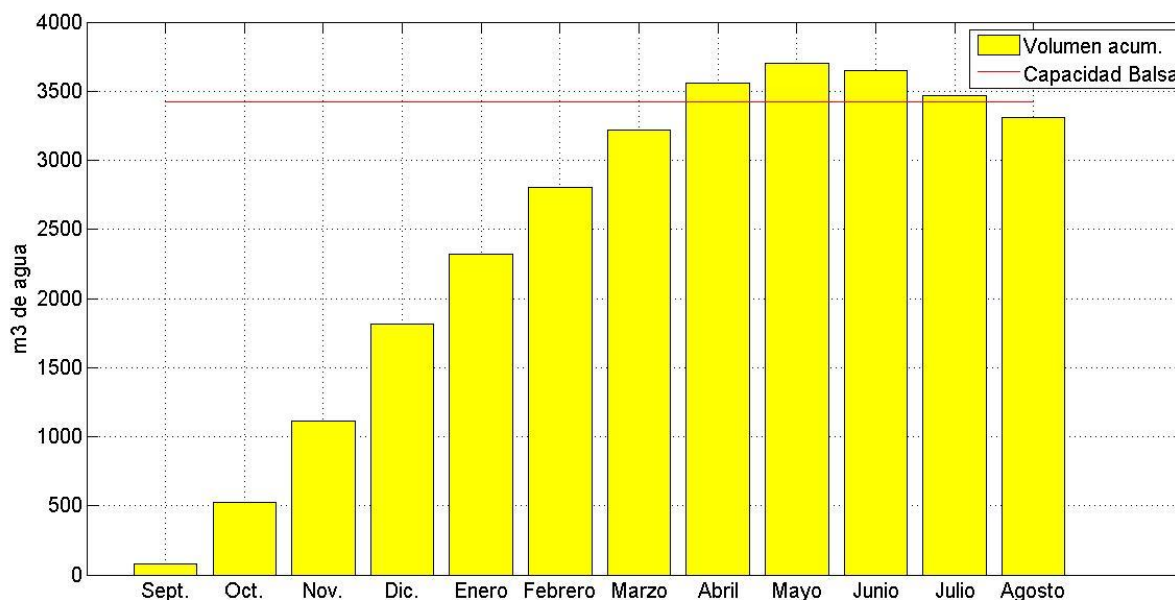


Figura 30. Volumen de agua acumulado en la balsa de lixiviados 2.



En la Figura 30 se puede observar que en el caso de la balsa 2 existe un pequeño déficit, de orden de magnitud inferior al del sistema 1. El volumen máximo de agua a almacenar es de $3.701,47 \text{ m}^3$ lo cual supera la capacidad máxima de la balsa. El volumen máximo se alcanza de nuevo en el mes de mayo. El déficit del sistema 2 es de **$281,5 \text{ m}^3$** .

El déficit total de capacidad (el del sistema 1 más el del sistema 2) para almacenar lixiviados en la planta de compostaje de Coto Bajo es de **$2.287,5 \text{ m}^3$** .

5.2.4. Hipótesis 2. Balance completo

Se parte de nuevo de los datos climáticos del año de diseño que se han calculado anteriormente, y se procede a calcular el balance completo siguiendo el procedimiento y asumiendo las consideraciones recogidas en el apartado 4.4.2.

En esta hipótesis, a diferencia de la anterior, sólo se va a realizar el balance en el sistema 2, puesto que es en éste donde se encuentran los trojes (los cuales están constituidos por grandes cantidades de mezcla). No se realiza en el sistema 1 (donde se encuentran las pilas) porque tal y como se argumentó en el apartado 4.4.2. éstas ocupan un volumen muy pequeño y, por tanto, la cantidad de agua de lluvia que la mezcla puede interceptar es muy pequeña. Esto hace que las diferencias con respecto a la hipótesis 1 sean poco significativas.

La simplificación y suposición base de este modelo es que, cuando la mezcla tiene una humedad inferior a la de saturación, toda el agua de lluvia que llega a la era es absorbida por la masa y, por tanto, no llega a la balsa 2, mientras que cuando la humedad de la mezcla alcance la saturación toda el agua de lluvia que reciba la era 2 se almacena instantáneamente en la balsa 2. Por tanto, la superficie evaporadora en este caso no es sólo la de la balsa 2, ya que desde la mezcla también hay evaporación (inferior a la evapotranspiración potencial).

La humedad en saturación se ha tomado como un 61%, ya que la mezcla se diseña para una humedad inicial de 60%, la cual se sabe que no es la de saturación (puesto que tiene que haber cierta cantidad de oxígeno en los poros para la supervivencia de los microorganismos). Por ello, considerando la humedad de saturación en un 61% el análisis queda del lado de la seguridad. Cuanto mayor sea dicha humedad, más agua retiene la mezcla, menos lixiviado llega a la balsa y, por tanto, mayor capacidad del sistema para



almacenar los lixiviados. Hay que tener presente que por lixiviado se entiende al aporte líquido que fluye de la era 2 a la balsa 2, el cual es agua de lluvia que ha entrado en contacto con la mezcla a compostar.

La balsa 2 recibe también entrada de agua por lluvia directa, la cual pasa a ser lixiviado cuando fluye algo del mismo desde era 2, porque toda esa agua pasa a estar ya contaminada. Esa entrada es exactamente la misma que la hipótesis 1; puede despreciarse la lluvia directa y simplemente comparar el aporte de la era a la balsa cuando está vacía, con respecto al aporte cuando la era tiene una determinada cantidad de mezcla.

Hay que tener en cuenta que, a menor volumen de mezcla en la era, menos agua interceptada y, por tanto, más lixiviado va a fluir de la era a la balsa. Por ello se van a analizar los siguientes escenarios:

- Volumen de mezcla constante a lo largo del año e igual al máximo que se pretende compostar (100%), es decir, $11.011,5 m^3$ que es el volumen de mezcla correspondiente a 7.000.000 kg de alperujo (apartado 5.2.1.) (Figura 31).
- El volumen de mezcla constante a lo largo del año es el 75% del máximo (Figura 32).
- El volumen de mezcla constante a lo largo del año es el 50 % del máximo (Figura 33).
- El volumen de mezcla constante a lo largo del año es el 25 % del máximo (Figura 34).



Según lo anterior, cuando el volumen de mezcla máximo constante a lo largo del año sea 0, el resultado es idéntico al de la hipótesis 1 (Figura 35).

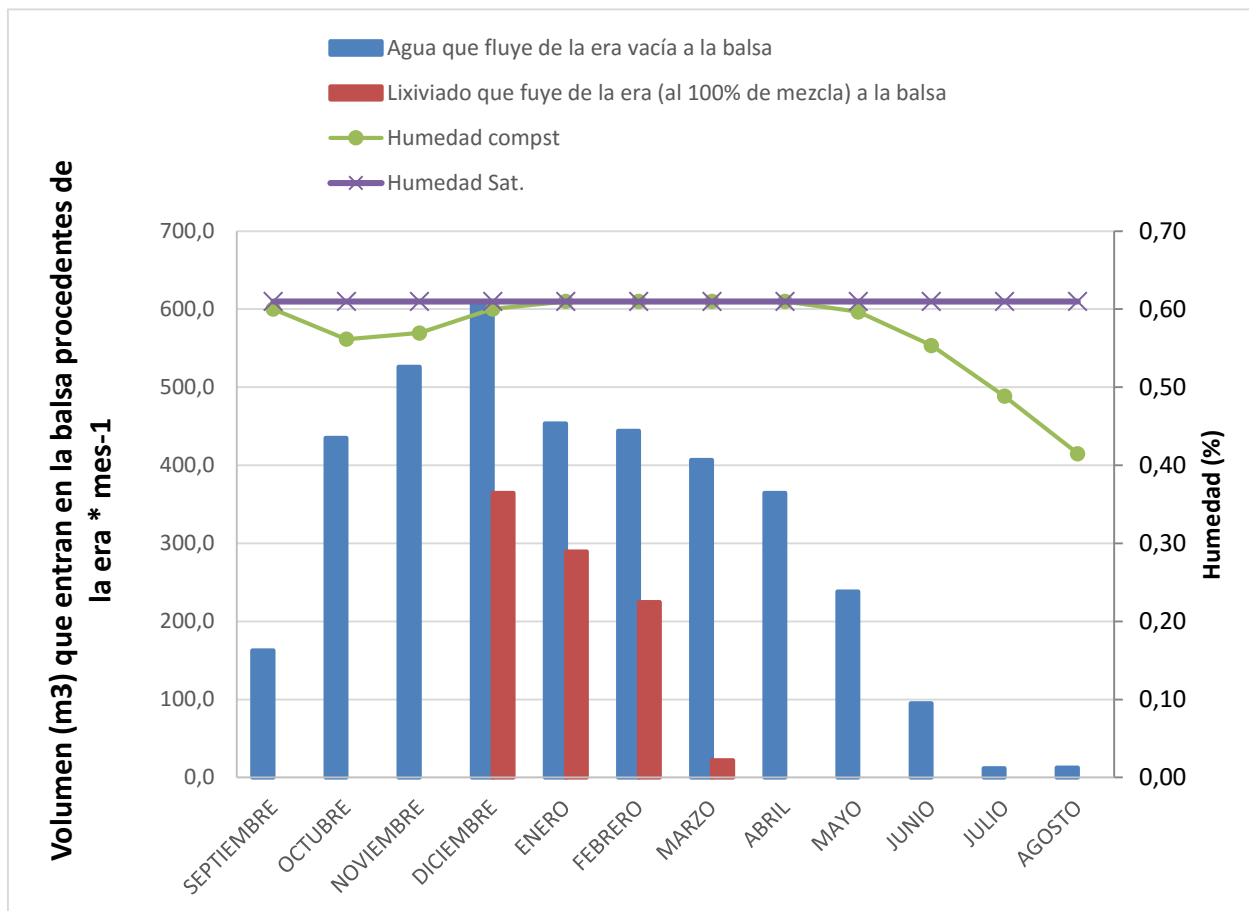


Figura 31. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el volumen máximo de mezcla a compostar (100 %).

El total anual de aporte desde la era 2 a la balsa 2 por agua de lluvia es de 3.761,4 m^3 mientras que el aporte de lixiviado total es de 900,96 m^3 , es decir, la entrada a la balsa se reduce en un 76 %.



Tal y como se puede observar en la Figura 31, hasta que la masa no alcanza su humedad en saturación, no se genera lixiviado. A partir de dicho momento, toda el agua de lluvia que la era 2 recibe fluye hacia la balsa (lixiviado). La entrada por lixiviado es inferior a la que entraría solo como agua (hipótesis 1).

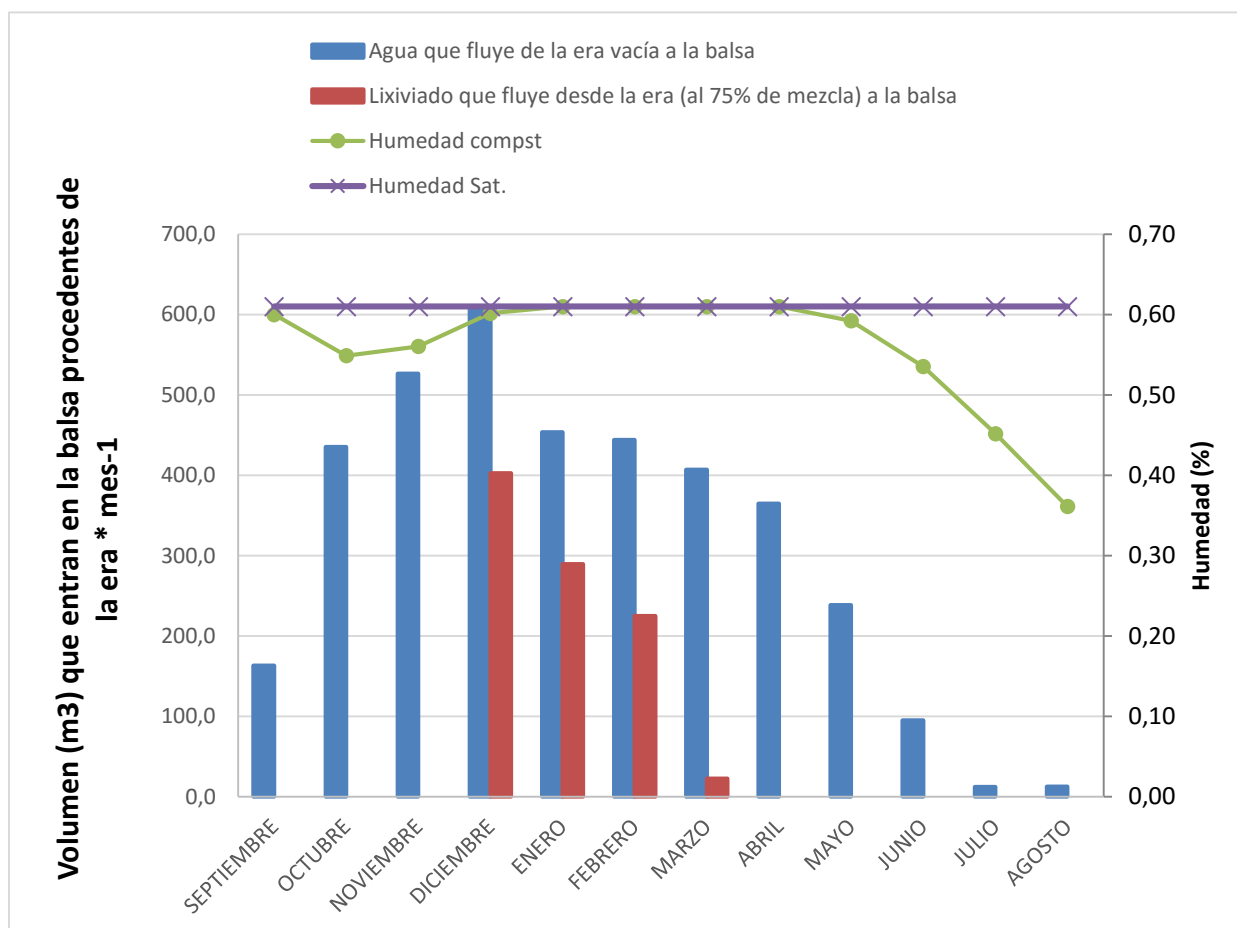


Figura 32. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 75% del volumen máximo de mezcla a compostar.

En este caso el aporte total de lixiviado anual es de $939,10 \text{ m}^3$, es decir, la entrada a la balsa se reduce en un 75 % con respecto a la hipótesis 1.

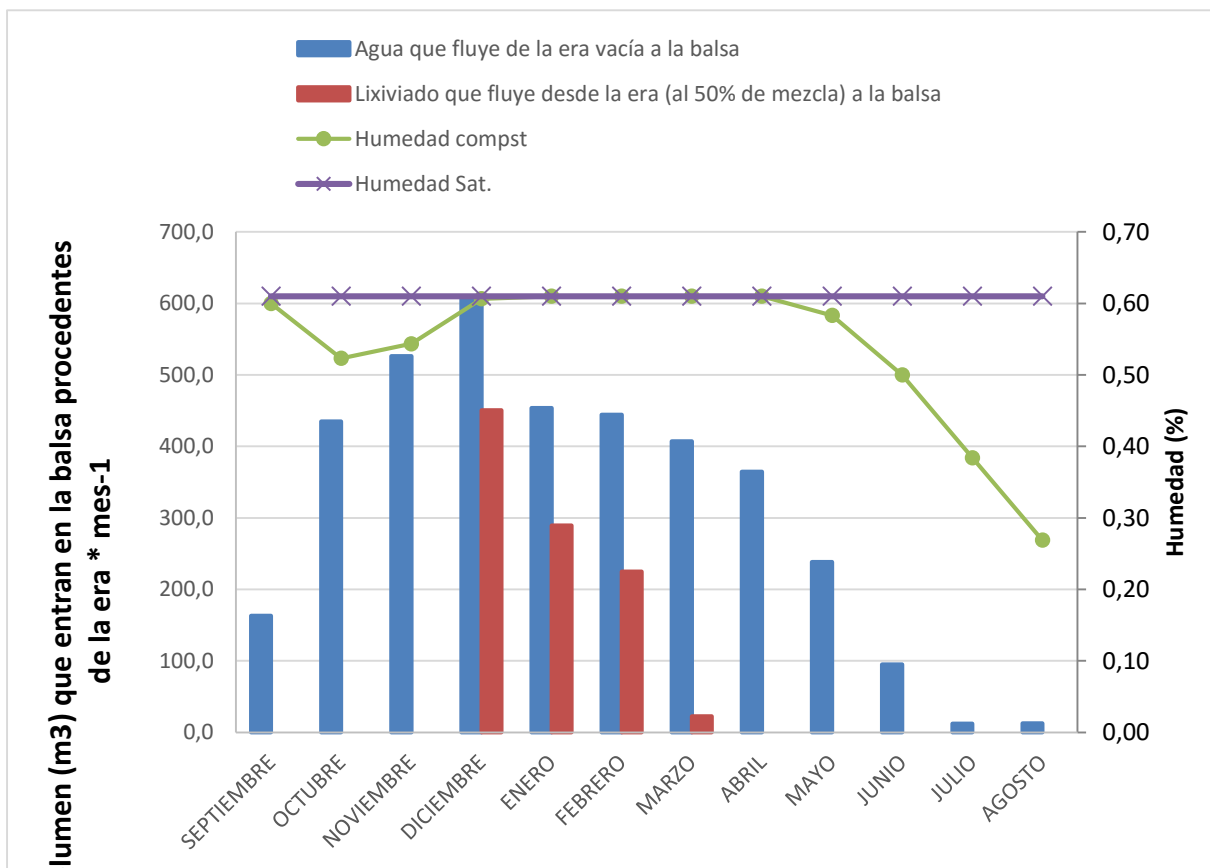


Figura 33. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 50% del volumen máximo de mezcla a compostar.

Cuando la mezcla contenida en la era es el 50% de la máxima, el lixiviado total generado es de $986,95 \text{ m}^3$, es decir, la entrada a la balsa se reduce en un 73,7 %. En la Figura 33 se puede observar que, como cada vez la cantidad de mezcla es menor, mayor es la disminución de la humedad de la misma en verano.

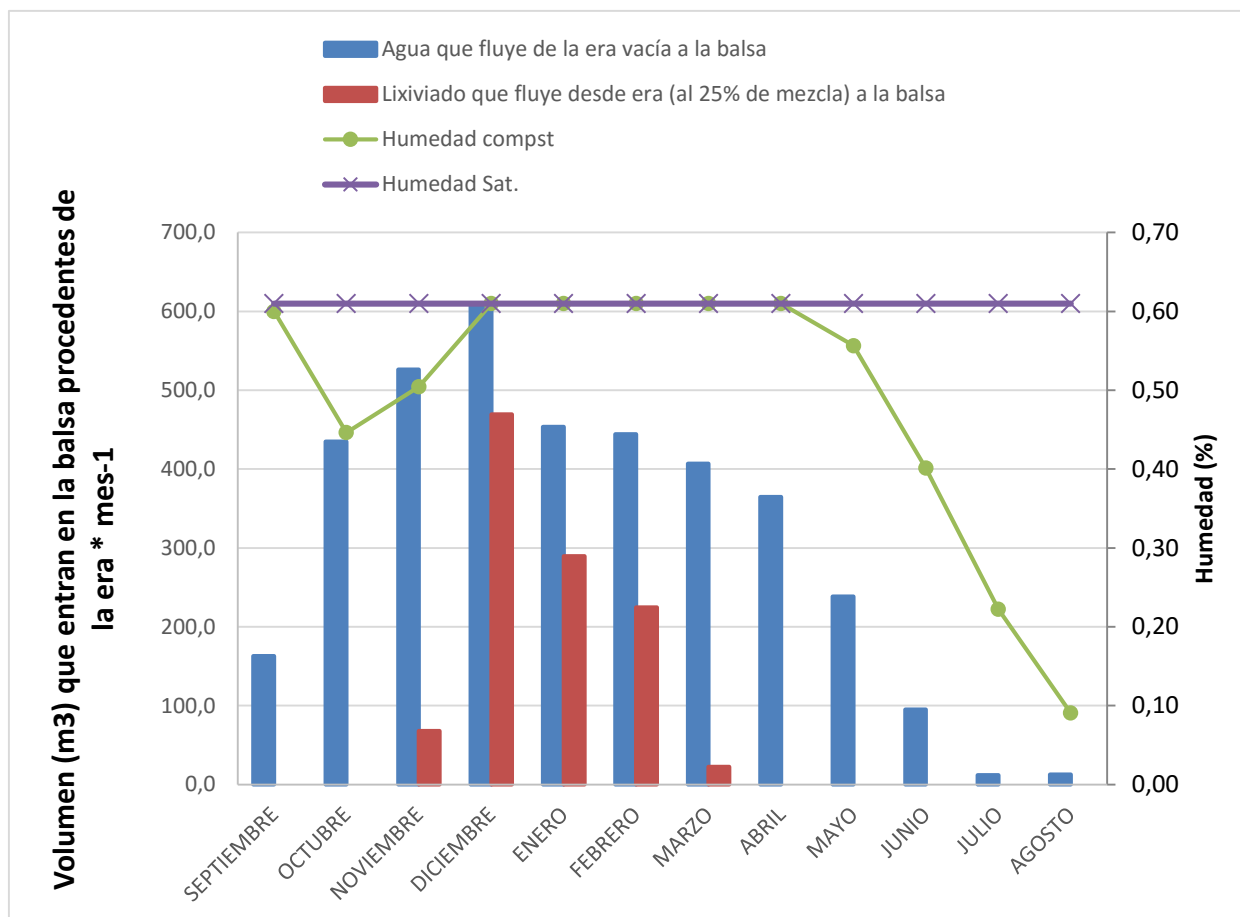


Figura 34. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta contiene el 25% del volumen máximo de mezcla a compostar.

En este caso aparece por primera vez un aporte lixiviado en el mes de diciembre (Figura 34). El aporte total de lixiviado anual es de 1.074 m^3 , es decir, la entrada a la balsa se reduce en un 71 % con respecto a la hipótesis 1.

Por último, en la Figura 35 puede comprobarse que, cuando la cantidad de mezcla contenida en la era es igual a 0, el aporte de “lixiviado” sería igual al aporte de agua y, por tanto, equivale a la hipótesis 1 (la más desfavorable). Por ello, las demás propuestas que se hacen para la planta obvian la hipótesis 2, y se basan en la hipótesis 1.

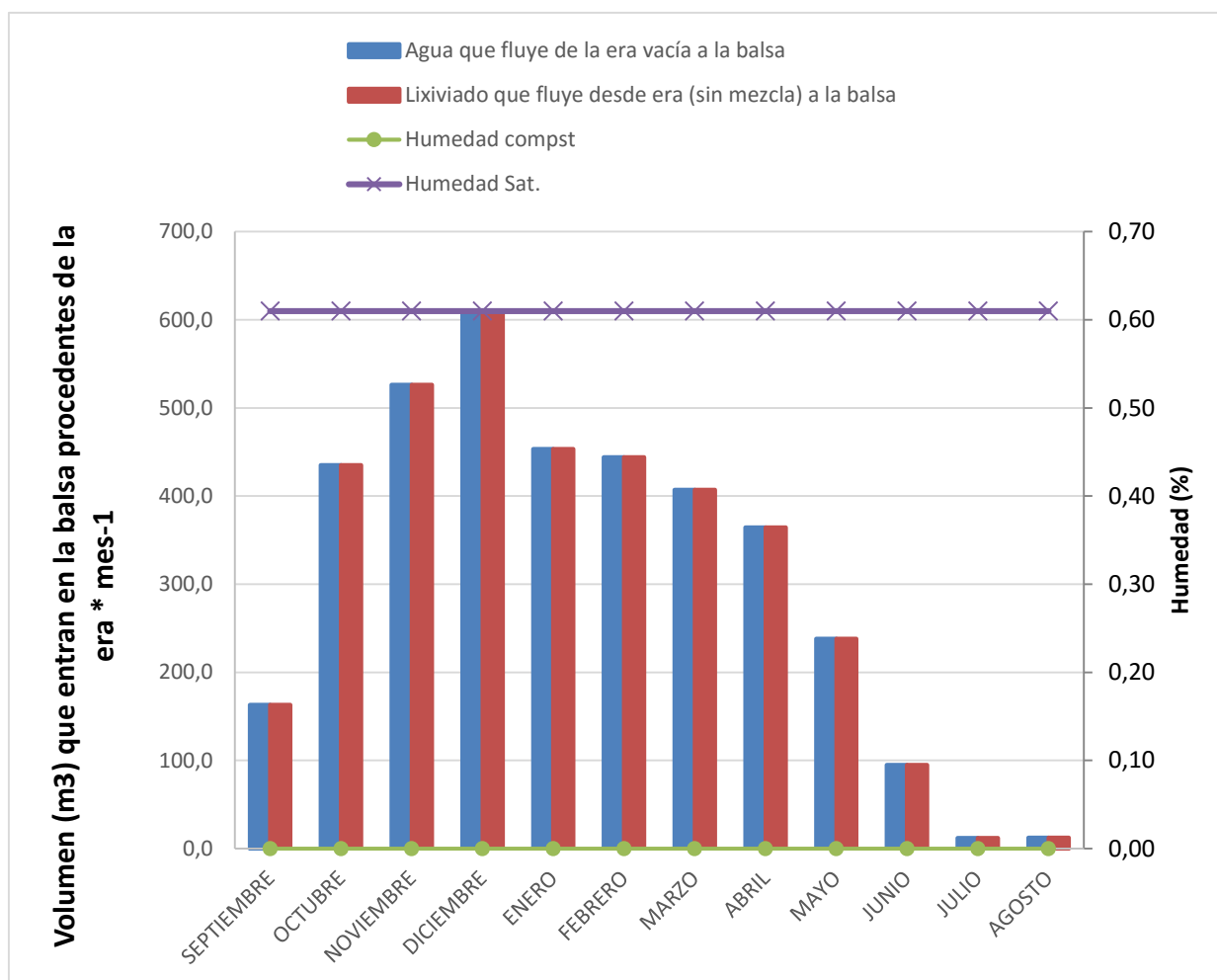


Figura 35. Comparativa entre el volumen de agua que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2, si en la misma no hay nada de mezcla (hipótesis 1) con el lixiviado que recibiría la balsa 2 procedente de la era 2 cuando ésta no tiene nada de mezcla.

Los cálculos anteriormente realizados ponen también de manifiesto que con poca mezcla que haya el efecto en la reducción de los lixiviados es muy grande.



5.2.5. Soluciones propuestas para solventar el problema relativo al almacenamiento de los lixiviados.

Una vez comprobado que efectivamente ninguno de los dos sistemas que conforman la planta de compostaje de Coto Bajo poseen capacidad suficiente para almacenar los lixiviados generados en un año cuyas condiciones climatológicas sean similares a las del año de diseño, se procede a dar una serie de posibles soluciones y a calcular cómo éstas afectan al almacenamiento de lixiviados en la planta.

5.2.5.1. Propuesta de manejo

Como ya se indicó en el apartado 5.1. se ha decidido invertir el uso de las eras de la planta, pasando la era 1 a destinarse a las pilas y la 2 a los trojes. En la era 1, por tanto, es donde se lleva a cabo el volteo de las pilas para que la masa alcance una humedad en torno al 5-10%. El volteo sólo puede realizarse en primavera-verano (mayo, junio, julio y agosto), cuando las condiciones climatológicas permitirían el secado de la masa. Por tanto, no tiene sentido que durante el resto de meses del año que es cuando llueve, se tengan las pilas en la era 1 “manchando agua de lluvia” y generando grandes cantidades de lixiviado que hay que almacenar para que se evaporen.

Por ello, se propone que a finales del mes de septiembre o primeros de octubre, con la aparición de las primeras lluvias, se devuelva a la era 2 la mezcla que se encontrase en la fase de volteo y que no hubiese completado el proceso. Tras eso, se realizaría un limpiado de la era y, tras el mismo, toda el agua que recibiera dicha era no tendría que almacenarse porque sería agua pluvial limpia.

Durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, el agua que llegase a acumularse en la balsa 1 se evapora en su totalidad, de modo que al terminar el mes de agosto no habría agua alguna almacenada en dicha balsa (Figura 36).

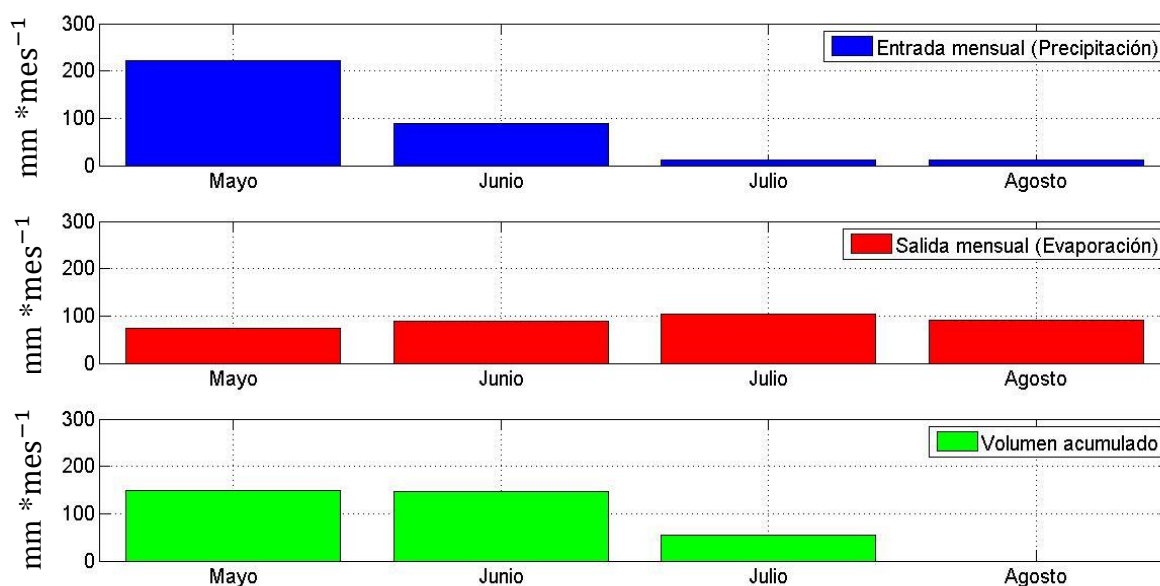


Figura 36. Balance de agua en la balsa 1 durante los meses en los que habría pilas en la misma (mayo, junio, julio y agosto), bajo las simplificaciones de la hipótesis 1.

Esto quiere decir que, aplicando esta solución de manejo, el déficit de 2.006 m^3 de capacidad que tenía el sistema 1 (era 1 – balsa 1) desaparece; no sólo eso, sino que los 1.050 m^3 de capacidad de la balsa 1 están disponibles para adsorber el déficit del sistema 2. Pero hay que tener en cuenta que al cambiar el manejo cambian también los flujos de entradas y salida de cada una de las balsas. Se procede, por tanto, a recalcular la hipótesis 1 de balance de agua en la planta.

Las suposiciones a tener en cuenta ahora son:

-La era 2 es la única de las plataformas que capta agua de lluvia. Dicha agua se almacena instantáneamente en la balsa de lixiviados 2.

-Mientras la balsa 2 no esté llena, la superficie captadora de agua de lluvia es la del sistema 2 (era 2 y balsa 2).

-Paralelamente, en el sistema 1, la balsa 1 tiene su propia superficie como receptora de agua de lluvia y como superficie de evaporación.

-Cuando la balsa 2 alcanza su capacidad máxima (3.420 m^3) entra en funcionamiento su aliviadero de superficie; el cual deriva por gravedad el agua que se reciba a posteriori a la balsa 1 (Figura 37).

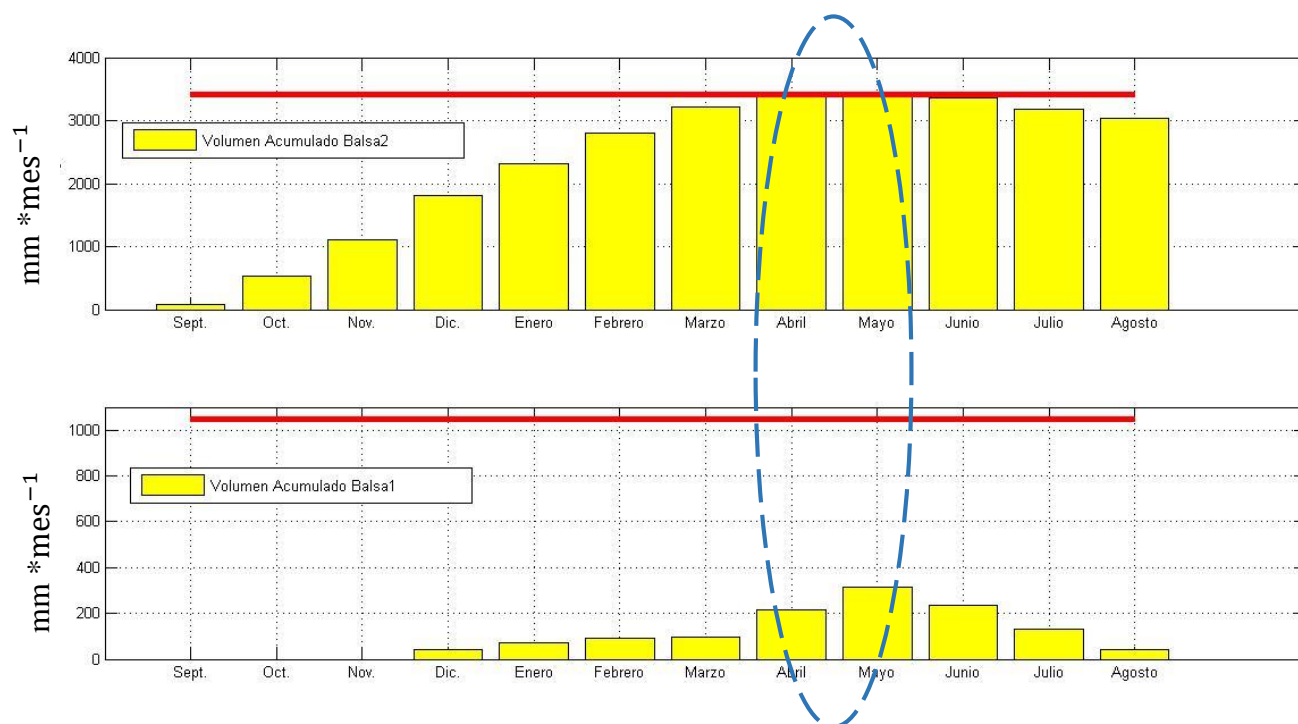


Figura 37. Volumen de agua acumulada en cada una de las balsas para la hipótesis 1 con el manejo propuesto.

Durante los meses de septiembre a marzo (ambos incluidos) el sistema 2 es independiente del sistema 1. En abril la balsa 2 se llena y comienza a fluir el sobrante de agua a la balsa 1 hasta que llega el mes de junio en el cual el balance entradas-salida es negativo. Aquí deja ya de fluir agua a la balsa 1 y por ello baja el volumen acumulado en la balsa 2 de su capacidad máxima. Excepto en abril y mayo, en el sistema 1 solo entra el agua que la balsa 1 recibe por lluvia directa.

Con una solución tan sencilla como esta y a coste cero, se consigue pasar de no tener capacidad para almacenar todos los lixiviados a que sobre capacidad. Pero esta propuesta por sí sola no soluciona todos los problemas de la instalación de compostaje, puesto que aunque ahora sí que hay capacidad, a finales de agosto se tendría la balsa 2 con $3.029,3 \text{ m}^3$ de agua y la 1 con $41,12 \text{ m}^3$. Dicha agua hay que retirarla durante el mes de septiembre para que el sistema entre en un nuevo año hidrológico con las balsas



limpias, y con toda su capacidad disponible para almacenar los lixiviados. Es decir, resulta imprescindible deshacerse de alguna forma de los $3.070,29 \text{ m}^3$ acumulados.

5.2.5.2. Propuesta de techado de una de las eras.

Se propone también como una solución techar una de las eras de la planta. Esta propuesta puede ser una solución alternativa y/o complementaria a la anterior. Alternativa porque por sí misma soluciona también el problema de capacidades al igual que lo hace la propuesta de manejo, y complementaria porque puede emplearse para corregir las deficiencias de la propuesta de manejo, como lo es el que haya muchos lixiviados acumulados al final del ciclo (año hidrológico).

5.2.5.2.1. El techado propuesto como alternativa

Sin implementar la propuesta de manejo desarrollada en el apartado 5.2.5.1. lo más conveniente sería techar la era 1, en la cual se van a realizar las pilas, ya que el techado permitiría alargar el periodo de tiempo en el cual pueden sacarse compost mediante el volteo. De esta manera, las lluvias dejarían de ser un factor que limita el periodo de volteos, y en cuanto la humedad del ambiente no fuese muy elevada podrían empezar dicha fase y comenzarse a cerrar el proceso.

Al recalcular la hipótesis 1 para este caso, hay que tener en cuenta principalmente que:

- La era 1 no capta nada de agua de lluvia, por lo que en la balsa 1 no entra agua alguna proveniente de dicha era. Dicha balsa dispone de su propia superficie como receptora y evaporadora de agua.

- La capacidad de la balsa 1 queda disponible para almacenar el déficit del sistema 2.

- Cuando la balsa 2 alcanza su capacidad máxima (3.420 m^3) entra en funcionamiento el aliviadero de superficie de la misma derivando todo el agua que recoja a partir de dicho momento a la balsa 1.

Por lo tanto, desde el punto de vista del almacenamiento de lixiviados, se consigue con esto exactamente lo mismo que para el caso de la solución de manejo, que es en definitiva que la balsa 1 almacena el déficit de la balsa 2. Además, aunque posee como ventaja el poder extender el periodo de volteos de las pilas (que es actualmente de mayo



a agosto incluidos), tiene como contrapartida que el tiempo medio necesario para que una pila salga como compost elaborado va a ser mayor, puesto que la cubierta va a impedir que la mayor parte del día la masa reciba insolación. Sólo recibiría radiación solar directa al amanecer y al atardecer que es cuando los rayos de sol incidirían lo suficientemente inclinados como para que incidiesen por los laterales.

Pero la gran diferencia de esta propuesta con la de manejo es el coste. Motivo más que suficiente para afirmar que esta solución, con este planteamiento, no tendría sentido.

5.2.5.2.2. *El techado como propuesta complementaria.*

En este contexto el techado de una de las eras pretende solventar los problemas que no logra erradicar por sí sola la propuesta de manejo: cómo eliminar los lixiviados almacenados a 31 de agosto, y cómo garantizar a la CHG que la planta va a funcionar correctamente, más allá de la buena voluntad de los gestores de Coto Bajo por llevar a cabo un manejo correcto en la planta de compostaje.

En esta situación, lo que interesa es techar la era 2; el problema en la era 1 ya está solucionado con dejarla limpia de septiembre a abril. Según esto, se procede a volver a calcular la hipótesis 1 en este nuevo contexto (Figura 38).

Las principales consideraciones a tener en cuenta en el cálculo son:

- Ninguna de las eras capta agua de lluvia salvo la 1 en los meses de mayo, junio, julio y agosto.
- La única entrada a las balsas (1 y 2) es las que estas reciben por lluvia directa, salvo la balsa 1 que recibe a agua de la era 1 en los meses anteriormente citados.

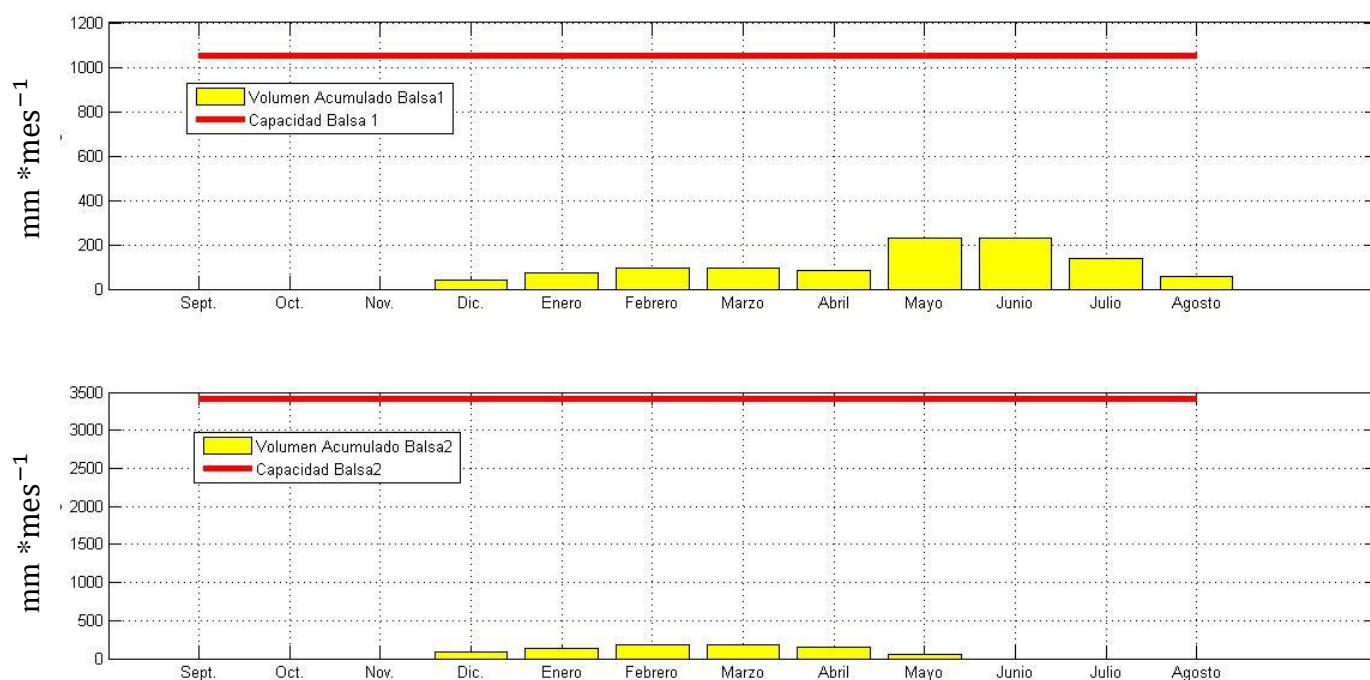


Figura 38. Volumen de agua acumulado en cada una de las balsas de lixiviados para la hipótesis 1 en el caso de que se lleve a cabo el manejo propuesto junto con el techado de la era 2.

Tal y como se puede observar en la Figura 38 no sólo hay capacidad para almacenar todos los lixiviados de la planta (cosa que se conseguía con la propuesta de manejo por sí sola) sino que, además, cuando termina el mes de agosto la balsa 2 estaría completamente vacía y la 1 tendría algo, pero muy poco, de lixiviado (unos 57 m^3). Esto se puede solucionar bombeando 57 m^3 del lixiviado almacenado en la balsa 1 a la balsa 2 en el mes de junio, para incrementar así la evaporación. De este modo al final de agosto el agua acumulada en cada una de las balsas es 0.

Por otra parte, no es estrictamente necesario techar la totalidad de la era 2, sino que basta con cubrir el 90% de la misma (Figura 39) y hacer con 57 m^3 de la balsa 1 lo mismo que en el caso anterior para que el sistema funcione, siendo 0 los lixiviados acumulados a finales de agosto.

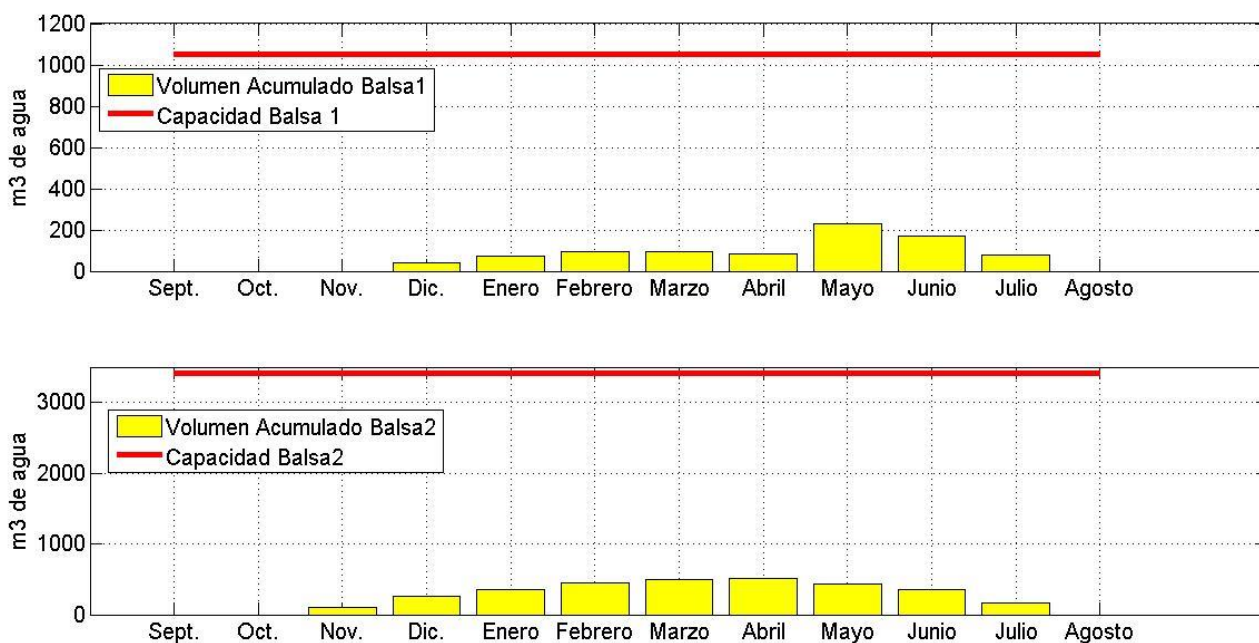


Figura 39. Volumen de agua acumulado en cada una de las balsas de lixiviados para la hipótesis 1 en el caso de que se lleve a cabo el manejo propuesto junto con el techado del 90 % de la superficie de la era 2.

El 90 % de la superficie de la era 2 (4.782 m^2 de superficie útil) son $4.303,8 \text{ m}^2$. Considerando una estructura ligera sin cerramientos laterales, puede considerarse que se requerirían unos 35 kg/m^2 de acero, es decir, un total de 150.633 kg de acero; cuyo precio ronda los $1,7 \text{ €/kg}$. Por tanto, el coste del acero de la estructura sería de unos $256.076,1 \text{ €}$. Añadiendo un material de cubierta tipo sándwich cuyo precio es de unos $15,5 \text{ €/m}^2$ aproximadamente, el coste del panel sándwich sería de $66.708,9 \text{ €}$. El coste total del techado ascendería a unos **322.785 €** aproximadamente.

5.2.5.3. Propuesta de depuración de los lixiviados.

Una alternativa al techado que sirva como complemento a la propuesta de manejo permitiendo solucionar el problema asociado al gran volumen de lixiviados acumulados al final del ciclo, consiste en la contratación de una empresa externa que se lleve los lixiviados a una depuradora de aguas.

A lo largo del desarrollo de este trabajo se contactó con una empresa especializada que realiza este tipo de servicios, con el objetivo de tener una idea orientativa sobre el coste anual que supondría a Coto Bajo eliminar los lixiviados calculados para el año de



diseño; y poder comparar dicho coste con el del techado. Es decir, habría que llevar a la planta depuradora un total de $3.070,39 \text{ m}^3$.

El transporte de los lixiviados se realizaría en camiones cisterna de 25 m^3 de capacidad que se irían retirando periódicamente durante el verano. Los lixiviados se llevarían a la Golondrina (depuradora municipal de aguas de Córdoba capital), en donde se iría depositando en unos depósitos dosificadores debido a que la alta carga contaminante del lixiviado imposibilita el aporte directo a la depuradora.

Los costes del conductor, más la bomba que succiona el lixiviado de las balsas, y la mano de obra del operario alcanzarían alrededor de 150 €/camión . Además, hay que tener en cuenta que, para que a la empresa le resulte rentable, necesita realizar unos 3 portes al día (450 €). A estos costes hay que añadir entre $15\text{-}20 \text{ €}$ por descarga que cobra la Golondrina más unos 4 €/m^3 que es el coste de uso del depósito dosificador.

$$\frac{3.070,39 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3/\text{cisterna}} = 122,81 \rightarrow 123 \text{ camiones}$$

$$\text{Coste transporte} = 123 \text{ camiones} * 150 \text{ €/camión} = 18.450 \text{ €}$$

$$\text{Coste depósito dosificador} = 3.070,39 \text{ m}^3 * 4 \text{ €/m}^3 = 12.281,6 \text{ €}$$

$$\text{Coste descarga} = 123 \text{ descargas} * 15 \text{ €/descarga} = 1.845 \text{ €}$$

$$\text{COSTE TOTAL} = \underline{\underline{32.576,6 \text{ €}}}$$

$$\frac{123 \text{ camiones cisterna}}{3 \text{ camiones/día}} = \underline{\underline{41 \text{ días}}}$$

Los costes anuales son muy elevados, aunque bien es cierto que en años menos lluviosos que el de diseño, dichos costes serían menores.

La retirada de lixiviados debería iniciarse primeros de agosto, con el objetivo de terminar a finales de septiembre favoreciendo así que durante el verano se evapore el máximo posible en las balsas.



6. CONCLUSIONES



En este trabajo se ha analizado la situación actual del sistema de compostaje objeto de estudio y se ha realizado un diagnóstico del manejo actual y la evaluación de diferentes alternativas de mejora para cumplir los objetivos del trabajo. Los principales resultados y conclusiones se resumen a continuación.

Efectivamente, parte de las instalaciones de la planta de compostaje se encuentran dentro de la zona de policía del cauce innominado. Por ello, tras cuantificar esa superficie se ha decidido dejar de operar en la misma y se propone construir un murete que impida que las aguas pluviales que reciba dicha zona inhabilitada acaben acumulándose en las balsas de lixiviados. Esto ha hecho que ahora la superficie útil en la era 2 sea mayor que en la era 1; lo cual lleva a considerar oportuno invertir el manejo en la planta pasando las pilas a la era 1 y los trojes a la 2. Además, así la era que posee los trojes vierte a la piscina de lixiviados de mayor capacidad.

Una vez reestructurada la planta para adecuarla a los límites marcados por la zona de policía del cauce innominado se ha procedido a diseñar la nueva mezcla para el co-compostaje, la cual posee urea como fuente de nitrógeno, y se ha comprobado que en la era 2 hay capacidad suficiente para compostar los 7.000.000 kg de alperujo que se habían establecido como objetivo.

En cuanto al diagnóstico de funcionamiento de la planta considerando que se ha inhabilitado la zona de policía de cada una de las eras, el balance de agua en las instalaciones de la planta (Hipótesis 1) ha puesto de manifiesto que las instalaciones de la planta de Coto Bajo, con el manejo actual, no tienen capacidad para almacenar en condiciones extremas los lixiviados que en ella se originan (y por lo tanto, menos aún en las condiciones actuales). Además, dichos lixiviados no son en la actualidad realmente tales, es decir, originados por la interceptación directa de la propia mezcla a compostar, sino que la planta por su diseño, al poseer las eras descubiertas, capta una gran cantidad de agua de lluvia que se convierte en lixiviado al entrar en contacto con la masa. Éste es el motivo por el cual las balsas no tienen capacidad suficiente.

La superficie captadora es 8,27 veces superior a la evaporadora en el caso del sistema 1, y 5,31 veces superior a la evaporadora en el caso del sistema 2. El tremendo desfase entre superficies de captación y evaporación es el motivo por el cual a pesar de que la ET_0 del año de diseño es 1,5 veces mayor a la precipitación, no es posible eliminar



el agua almacenada al final del año hidrológico ni evitar que se supere la capacidad máxima.

Con el cálculo del balance completo (Hipótesis 2) se ha puesto de manifiesto su margen de diferencia con la Hipótesis 1 y, por tanto, el margen de seguridad disponible, ya que es ésta última la que se ha tenido en cuenta a la hora de proponer soluciones y cuantificar cómo éstas afectan al almacenamiento de los lixiviados en la planta.

Se ha detectado también que no sólo es necesario que haya capacidad para almacenar todos los lixiviados, sino que además hace falta que en septiembre las balsas queden vacías de una forma u otra. Teniendo todo esto en cuenta existen dos posibles soluciones:

- Aplicar la propuesta de manejo junto con la de retirar los lixiviados llevándolos a una planta depuradora mediante la contratación de los servicios prestados por una empresa especializada en este tipo de servicios.
- Aplicar la propuesta de manejo y cubrir el 90 % de la era 2, sabiendo que es necesario bombear $57 m^3$ de lixiviado de la balsa 1 a la balsa 2 en el mes de junio.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Abad, M., Noguera, P., Noguera, V., Roig, A., Cegarra, J. y Paredes, C., 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 19: 92-109.

Abad, M. y Puchades, R. (Coord.), 2002. *Compostaje de Residuos Orgánicos Generados en la Hoya de Buñol (Valencia) con Fines Hortícolas*. Ed. Asociación para la Promoción Socio- Económica Interior Hoya de Buñol, Valencia.

Albuquerque, J.A., González, J., García, D. y Cegarra, J., 2004. Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology* 91: 195-200.

Albuquerque, J., González, J., García, D. y Cegarra, J., 2006a. Effects of bulking agent on the composting of “alperujo”, the solid by-product of two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry* 41: 127-132.

Albuquerque, J., González, J., García, D. y Cegarra, J., 2006b. Composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions. *Waste Management* 26: 620-626.

Albuquerque, J. González, J., García, D. y Cegarra, J., 2006c. Measuring detoxification and maturity in compost made from “alperujo”, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere* 64: 470-477.

Albuquerque, J.A., González J., García, D. y Cegarra, J., 2007. Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology* 98: 940-945.

Albuquerque, J.A., González, J., Tortosa, G., Baddi, G.A. y Cegarra, J., 2009. Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation* 20: 257-270.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome.

Altieri, R. y Esposito A., 2010. Evaluation of the fertilizing effect of olive mill waste compost in short-term crops. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64: 1-5.



Álvarez J.M., 2006. Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico química de los compost producidos.

Aranda, E., Sanpedro, I., Ocampo, J.A. y García-Romera, I., 2002. Reducción de la fitotoxicidad del extracto acuoso de alperujo en plantas de tomate mediante el uso de *Fusarium lateritium*. Jornadas de investigación y transferencia tecnológica al sector oleícola. pp: 233-236. Córdoba 2002. Dpto. Microbiología del Suelo y Sistemas Simbióticos, Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Granada.

Baeta-Hall, L., Sàágua, M.C., Bartolomeu, M.L., Anselmo, A.M. y Rosa, M.F., 2005. Bio-degradation of olive oil husks in composting aerated piles. *Bioresource Technology* 96: 69-78.

Bauer, A. y Black, A.L., 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *of Soil Science Society of America Journal* 58: 185-193.

Borja, R., Martín, A., Sánchez, E., Rincón, B. y Raposo, F., 2005. Kinetic modelling of the hydrolysis, acidogenic and methanogenic stops in the anaerobic digestion of two-phase olive pomace (TPOP). *Process Biochemistry* 40: 1841-1847.

Canet, R., Pomares, F., Cabot, B., Chaves, C., Ferrer, E., Ribó, M. y Albiach, R., 2008. Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste Management* 28: 2585-2592.

Cayuela, M.L., 2004. Producción Industrial de Compost Ecológico a Partir de Residuos de Almazara. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia. 295 pp.

Cegarra, J., Albuquerque, J.A. y Tortosa, G., 2005b. Utilización de estiércoles y residuos vegetales para compostar alperujo, el principal subproducto de la industria extractiva del aceite de oliva en España. Influencia sobre el proceso y la calidad del compost. En: *Actas II Congreso sobre Residuos Biodegradables y Compost*, Sevilla. 5 pp. Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos, Madrid. Formato CD-ROM.

Cegarra, J., Albuquerque, J.A., González, J., Tortosa, G. y Chaw, D., 2006. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) managed by mechanical turning. *Waste Management* 26: 1377-1383.



Cegarra, J. y Paredes, C., 2008. Residuos agroindustriales. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. pp. 519-551. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Climent, M.D., Abad, M. y Aragón, P., 1996. El Compost de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Sus Características y Aprovechamiento en Agricultura. Ediciones y Promociones LAV S.L., Valencia.

Díaz, M.J., 1999. Procesos de co-compostaje de vinaza y tres residuos agroindustriales. Tesis Doctoral Universidad de Sevilla 1999.

García R., 2011. Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medioambiental.

Goyal, S., Dhull, S.K. y Kapoor, K.K., 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technology 96: 1584-1591.

Gray, K.R. *et al.* 1971 review of composting II. The practical process. Biochemistry 6 (October) ; 22-28.

Hachicha, S., Sallemi, F., Medhioub, K., Hachicha, R. y Ammar, E., 2008. Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes. Waste Management 28: 2593-2603.

Haug, R. 1993. The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers, Nueva York.

Herrero, J., Millares, A., Aguilar, C., Díaz, A., Polo, M. J. y Losada, M. A., 2011. WiMMed. Base teórica. Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, (Univ. de Granada) y Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología, (Universidad de Córdoba). Disponible en: http://www.uco.es/dfh/images/stories/20110614%20wimmed_teoría1.pdf, lastaccess: 25 June 2014.

IPTS, 2011. Working Document for End-of-waste Criteria on Biodegradable Waste to Biological Treatment. Institute for Prospective Technological Studies, Seville.

Jhorar, B., Phogat, V. y Malik, E., 1991. Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Arid Soil Research and Rehabilitation 5: 297-306.



Khalil, A., Domeizel, M. y Prudent, P., 2008. Monitoring of green waste composting process based on redox potential. *Bioresource Technology* 99: 6037-6045.

Laos, F. 2003. Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino-Patagónica: determinación de índices de madurez para su utilización agronómica. Tesis doctoral Universidad nacional del Comahue, Argentina. 148 pp.

Laufenberg, G., KUNZ, B. y NYSTROEM, M., 2003. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology* 87: 167-19.

Leege, P.B., 1996. Compost facility operating guide. *Science of composting*. (Ed. De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. Y Papi, T.) Blackie Academic and Professional, London, Vol I pp: 126-136.

Masaguer, A. y Benito, M., 2008. Evaluación de la calidad del compost. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. pp. 285-304. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Mustin, M. 1987. *Le compost. Gestion de la matière organique*. Éditions François Dubus. Paris.

Navarro Pedreño, J., Moral Herrero, Gómez Lucas y Mataix Beneyto. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Secretariado de Publicaciones, Universidad de Alicante. 108 pp

NERA, 2007. *Nueva Estrategia de Desarrollo Rural para el Valle del Medio Guadalquivir*.

OECD, 2003. Glossary of Statistical Terms. URL: <http://stats.oecd.org/glossary/> (17/03/2011).

Ordóñez, R., Romero, A.M^a., Polo, M^a.J., Giráldez, J.V. y González, P., 1998. Aplicación de alperujo en suelos: Dinámica de los principales nutrientes aportados. XVI Congreso Nacional de Riegos, Palma de Mallorca: 157-164.

Ordoñez, R., González, P., Giráldez, J.V. y García-Ortíz, A., 1999. Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola. In: Muñoz-Carpena, R., Ritter, A. y Tascón, C. (Eds.). *Actas de las IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada*. Vol. 4. Estudios de la Zona no Saturada. pp. 123-126. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Gobierno de Canarias.

Ordóñez, R., 2004. TFG Evolución temporal del alperujo procedente de almazara.



Ortega, M.C., Moreno, M.T., Ordovás, J. y Aguado, M.T., 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae* 66: 125-132.

Poincelot, R.P., 1974. A Scientific Examination of the Principles and Practices of Composting. *Compost Sci.* 15 (Summer) : 24-31.

Polo, M. J., Herrero, J., Aguilar, C., Millares, A., Moñino, A., Nieto, S., y Losada, M. A., 2009. WiMMed, a distributed physically-based watershed model (I): Description and validation. En: *Environmental Hydraulics: Theoretical, Experimental & Computational Solutions*, CRC Press/Balkema, 225–228, ISBN 978-0-415-56697-1, 2009

Richard, T.,L. y Trautmann, N.M. 1996. Getting the right mix. Calculations for thermophilic composting. <http://compost.css.cornell.edu/calc/rightmix.html>

Roig, A., Cayuela, M.L. y Sánchez-Monedero, M.A., 2006. An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management* 26: 960-969.

Romero, A. M^a.; Ordóñez, R. y Giráldez, J.V. 1998. Variación de las características físico-químicas de varios suelos enmendados con alperujo. IV International Congress of Project Engineering, Córdoba, 1316-1324.

Saña, J. y Soliva, M., 1987. El Compostatge. Procés, Sistemes i Aplicacions. Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, Barcelona.

Seoáñez, M., 2002. Manual de Tratamiento, Reciclado, Aprovechamiento y Gestión de las Aguas Residuales de las Industrias Agroalimentarias. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Solano, M.L, Iriarte, F., Ciria, P. y Negro, M.J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. *J. Agric. Engng. Res.* 79, 317 – 329.

Soliva, M., 2001. Compostatge i Gestió de Residus Orgànics. Diputació de Barcelona, Barcelona.

Soliva, M. y Paulet, S., 2001. Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola. En: Boixadera, J. y Teira, M.R. (Eds.). *Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos*. pp. 63-78. Edicions de la Universitat de Lleida, Lleida.



Soliva, M., López, M. y Huerta, O., 2008. Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. pp. 75-92. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Thompson, R.B. y Nogales, R., 1999. Nitrogen and carbon mineralization in soil of vermicomposted and unprocessed dry olive cake (“orujo seco”) produced from two-stage centrifugation for olive oil extraction. Journal of Environmental Science and Health B 34: 917- 928.

Trautmann, N. y Olynciw, T. 1996. <http://compost.css.cornell.edu/chemistry.html>

UN-United Nations, 1997. Glossary of Environment Statistics. Studies in Methods, Series F, No. 67. Department for Economic and Social Information and Policy Analysis, New York.

Van Ginkel, J.T. 1996. Physical and biochemical processes in composting material. Tesis doctoral, Universidad Agrícola de Wageningen.

Walker, D.J. y Bernal, M.P., 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. Bioresource Technology 99: 396-403.



8. ENLACES DE INTERÉS



Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía (IDE ANDALUCÍA)

<http://www.ideandalucia.es/portal/web/ideandalucia/>

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía

<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/lineav2/web/>

RD 849/1986 por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

<http://www.boe.es/buscar/pdf/1986/BOE-A-1986-10638-consolidado.pdf>

RD 506/2007 sobre productos fertilizantes

<https://www.boe.es/boe/dias/2013/07/10/pdfs/BOE-A-2013-7540.pdf>

Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>

Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC).

<http://ws128.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/sigpac/index.xhtml>

Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España

<http://www.siose.es/>



9. ANEJOS



ANEJO 1

**Seguimiento de la evolución del cauce innominado desde 1956
hasta la actualidad mediante ortofotografía aérea**



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1956-1957. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	120
Figura 2. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1977. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	120
Figura 3. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1984-1985. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	121
Figura 4. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1997-1998. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	121
Figura 5. Ortofotografía digital de Andalucía 1998. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	122
Figura 6. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 2001. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	122
Figura 7. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 2001-2002. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	123
Figura 8. Ortofotografía digital de Andalucía 2004. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	123
Figura 9. Ortofotografía digital de Andalucía 2004-2005. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	124
Figura 10. Ortofotografía digital de Andalucía 2006-2007. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	124
Figura 11. Ortofotografía digital de Andalucía 2007. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	125
Figura 12. Ortofotografía digital de Andalucía 2008-2009. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	125
Figura 13. Ortofotografía digital de Andalucía 2010-2011. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)	126



Figura 14. Ortofotografía digital de Andalucía máxima actualidad. Finca Coto Bajo
(Guadalcázar, Córdoba)..... 126

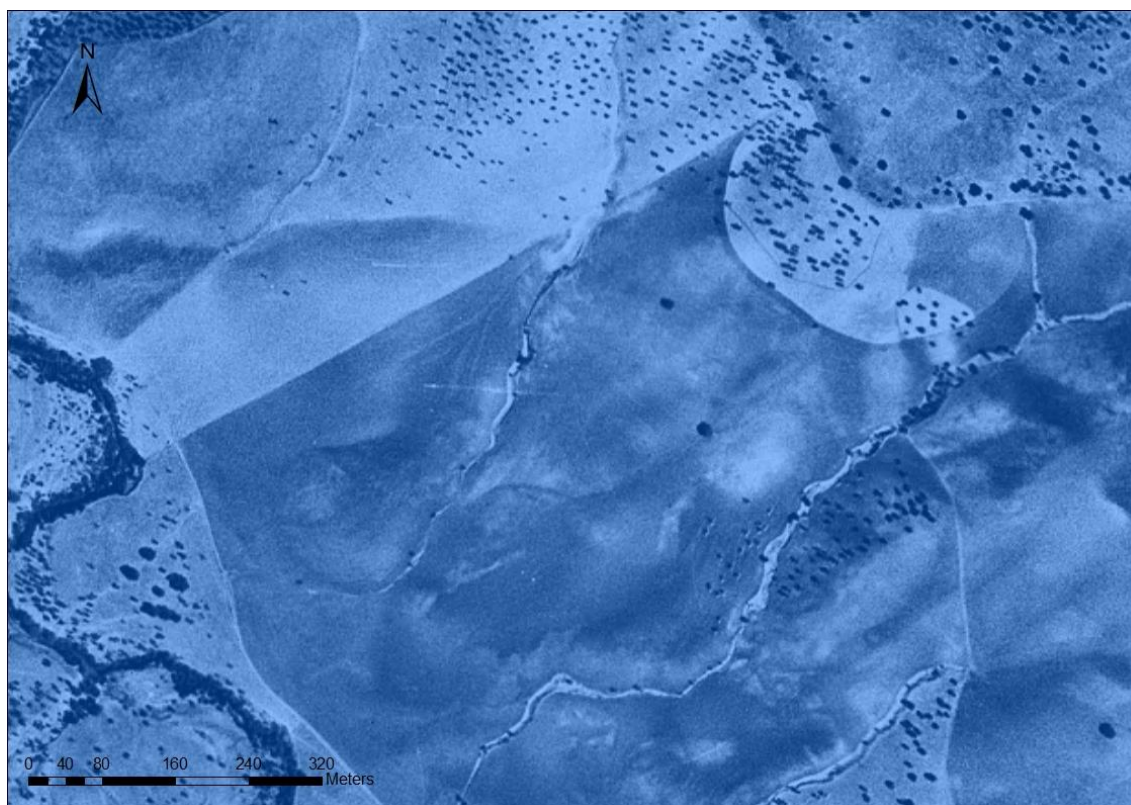


Figura 1. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1956-1957. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)

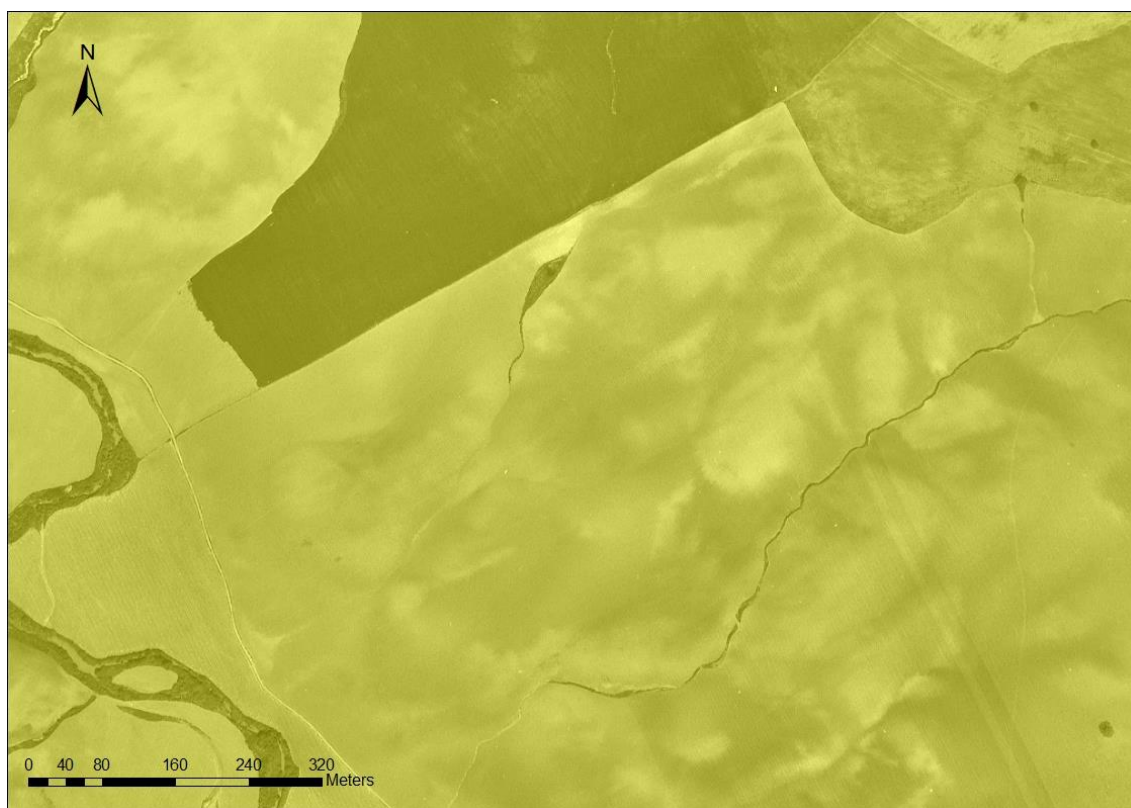


Figura 2. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1977. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)

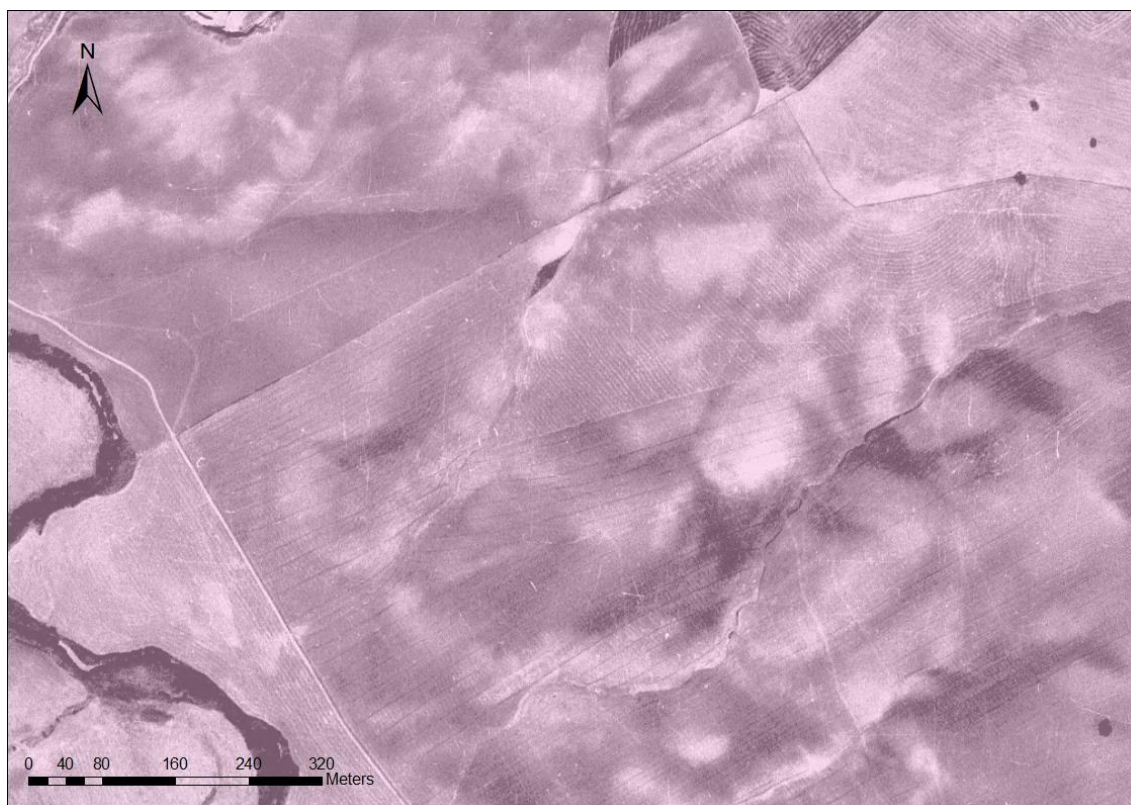


Figura 3. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1984-1985. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 4. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 1997-1998. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 5. Ortofotografía digital de Andalucía 1998. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 6. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 2001. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 7. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía 2001-2002. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 8. Ortofotografía digital de Andalucía 2004. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 9. Ortofotografía digital de Andalucía 2004-2005. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 10. Ortofotografía digital de Andalucía 2006-2007. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 11. Ortofotografía digital de Andalucía 2007. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 12. Ortofotografía digital de Andalucía 2008-2009. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



Figura 13. Ortofotografía digital de Andalucía 2010-2011. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)

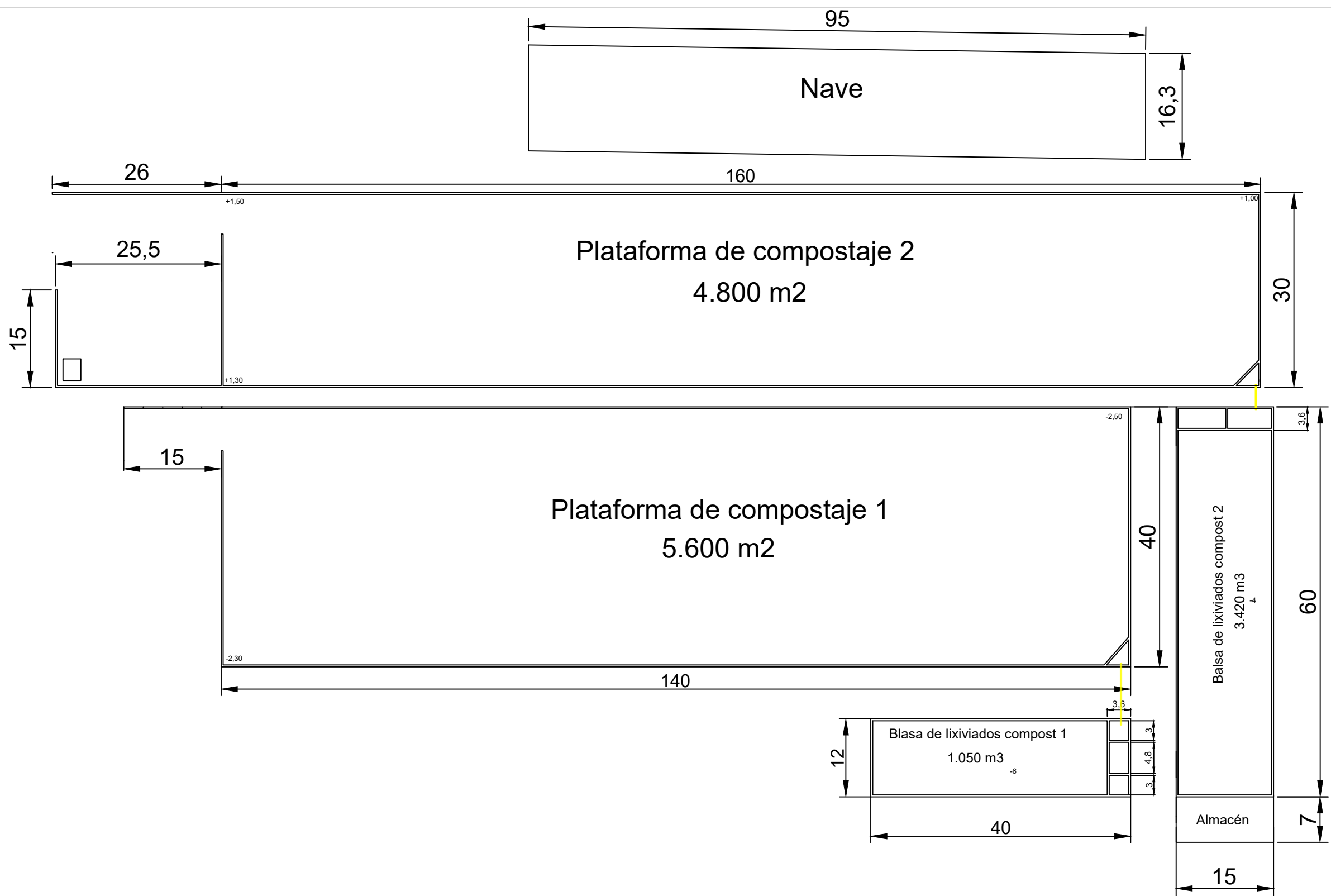


Figura 14. Ortofotografía digital de Andalucía máxima actualidad. Finca Coto Bajo (Guadalcázar, Córdoba)



ANEJO 2

Plano en planta de la instalación de compostaje de Coto Bajo



PLANTA DE COMPOSTAJE COTO BAJO			
TFM EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE ALPEORUJO			-----
Gabriel Delgado	PLANO EN PLANTA	15/12/2015	E: 1/650



ANEJO 3

**Análisis químico realizado a unas muestras de la mezcla de la
campaña 2014/15 en los trojes de la era/plataforma 1**

**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN TÚNELES A ESCALA
PILOTO DE GALLINAZA**

**GRUPO DE INGENIERÍA QUÍMICA
RNM-271**

Enero de 2016

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
AREA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Campus Universitario de Rabanales. Edificio Marie Curie (C3)
Carretera Madrid-Cádiz, Km 396-A.
14071 Córdoba**



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

AREA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Campus Universitario de Rabanales. Edificio Marie Curie

(C3)

Carretera Madrid-Cádiz, Km 396-A.

14071 Córdoba

CARACTERIZACIÓN GALLINAZA

RECEPCIÓN MUESTRA: 17 de diciembre de 2015

	Gallinaza
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2420 ± 2
Ph	$6,17 \pm 0,01$
Humedad (%)	$73,82 \pm 0,07$
NTK (%)	$7,38 \pm 0,57$
N-NH₄⁺ (%)	$1,20 \pm 0,05$
Fósforo (%)	$0,58 \pm 0,01$
TC soluble (%)	4,50
IC soluble (%)	0,008
TOC soluble (%)	4,49
Ns (%)	0,18
SM (%)	$17,16 \pm 0,08$
SV (%)	$82,84 \pm 0,07$
VECO_{máxima} (mg O₂/gSV*h)	159
CAO₂₀ (mgO₂/gSV)	796

Los porcentajes de cada uno de los parámetros están expresados con respecto al total de la muestra seca, salvo la humedad.

Los resultados son la media aritmética de tres determinaciones.

Los parámetros de pH, Conductividad, Carbono soluble y Nitrógeno soluble se han determinado mediante la resuspensión de la muestra en agua con una relación 1:25 p/p.

NOTA: Todos los métodos de ensayo empleados corresponden a métodos oficiales especificados en el R.D. 824/2005 sobre productos fertilizantes.



ANEJO 4

CÁLCULO DE LA ET_0 Y ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS



ÍNDICE

1. SELECCIÓN DE ESTACIONES Y CÁLCULO DE LA ET_0	136
2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN	138
3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.....	140
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152



ÍNDICE DE FIGURAS

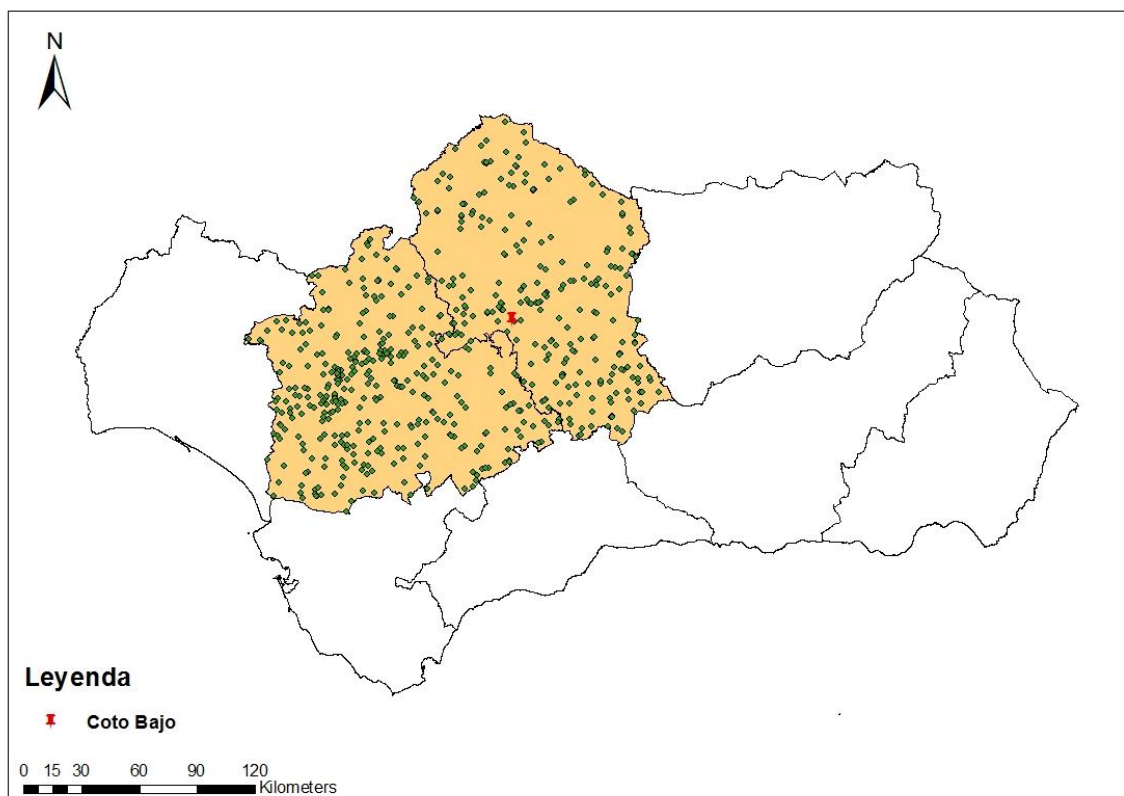
Figura 1. Estaciones meteorológicas de las provincias de Córdoba y Sevilla.....	136
Figura 2. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable precipitación en las 3 estaciones seleccionadas.	140
Figura 3. Valores de precipitación en las 3 estaciones seleccionadas.	141
Figura 4. Diagrama de Gantt de la variable precipitación para las 3 estaciones seleccionadas.....	141
Figura 5. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable temperatura mínima.	142
Figura 6. Valores de temperatura mínima en las 3 estaciones seleccionadas.....	142
Figura 7. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable temperatura media en las 3 estaciones seleccionadas.....	143
Figura 8. Valores de temperatura media en las 3 estaciones seleccionadas.....	143
Figura 9. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable temperatura máxima en las 3 estaciones seleccionadas.	144
Figura 10. Valores de temperatura máxima en las 3 estaciones seleccionadas.	144
Figura 11. Diagrama de Gantt de temperatura (mínima, media y máxima) para las 3 estaciones seleccionadas.....	145
Figura 12. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable radiación solar en las 3 estaciones seleccionadas.....	146
Figura 13. Valores de radiación solar para las 3 estaciones seleccionadas.	146
Figura 14. Diagrama de Gantt para la variable radiación solar en las 3 estaciones seleccionadas.....	147
Figura 15. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable velocidad del viento en las 3 estaciones seleccionadas.....	148
Figura 16. Valores de velocidad del viento en las 3 estaciones seleccionadas.	148
Figura 17. Diagrama de Gantt para la variable velocidad del viento.	149



Figura 18. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable presión de vapor en las 3 estaciones seleccionadas.	150
Figura 19. Valores de presión de vapor en las 3 estaciones seleccionadas.	150
Figura 20. Diagrama de Gantt para la variable presión de vapor en las 3 estaciones seleccionadas.....	151

1. SELECCIÓN DE ESTACIONES Y CÁLCULO DE LA ET_0

En Guadalcalázar y su entorno, se localizan las siguientes estaciones (Figura 1):



*Figura 1. Estaciones meteorológicas de las provincias de Córdoba y Sevilla.
Localización de la planta de compostaje de Coto Bajo.*

En primer lugar se seleccionaron las 3 estaciones más cercanas a la finca Coto Bajo que tuvieran disponibles datos de ET_0 o al menos de variables climáticas suficientes como para poder calcularla. El método más sencillo para el cálculo de la ET_0 es el de Hargreaves (Hargreaves, 1985), el cual calcula la evapotranspiración potencial diaria a partir de la temperatura (mínima, media y máxima) y la radiación solar diarias. En cambio, el método de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) basado en el balance de agua y energía, requiere de más variables. En concreto necesita de presión de vapor, radiación neta, temperatura media, velocidad del viento y presión de vapor; es el método más utilizado cuando se dispone de esta información.



Como las estaciones de la AEMET sólo proporcionan precipitación y temperatura media, no puede calcularse la evapotranspiración ni siquiera por Hargreaves; por otro lado, las estaciones de las redes RIA y RAIF que miden radiación solar, miden también todas las variables necesarias para la ecuación de Penman-Monteith-FAO. Por ello, se ha empleado la ecuación Penman-Monteith para el cálculo de la ET_0 en este trabajo y se han seleccionado las estaciones: RAIFC009 (Guadalcázar), RIA1404 (Hornachuelos) y RIA1406 (Córdoba).

La ecuación de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) se define como:

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{T} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$$

donde:

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor calculada a la temperatura media del aire (kPa/K)

R_n : Radiación neta (W/m^2)

G : Densidad del flujo de calor en el suelo ($0,1 * R_n$ durante el día y $0,5 * R_n$ durante la noche). (mm/día por equivalentes de agua)

γ : Constante psicrométrica (kPa/K)

T : Temperatura media diaria (K)

u_2 : Velocidad del viento (m/s)

e_s : Presión de vapor en saturación (kPa)

e_r : Presión de vapor en real (kPa)

C_d : Coeficiente de resistencia de la cubierta ($0,24 \text{ s/m}$ durante el día y $0,96$ durante la noche).

C_n : Coeficiente de resistencia aerodinámico ($37 \text{ K} * \text{mm} * \text{s}^3 / \text{mm} * \text{día}$)



2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

El análisis de correlación tiene como objetivo detectar datos de una estación (de las tres seleccionadas) que se desvíe significativamente de las otras dos. En dicho caso se eliminaría del estudio, puesto que estarían introduciendo un cierto error. El análisis de correlación se ha realizado con el uso del programa MeteoWiM-Matlab, del Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología de la UCO.

MeteoWiM Matlab es un programa auxiliar desarrollado en Matlab por Egüen y Herrero (2009) para el tratamiento de los datos meteorológicos y su posterior implementación en el modelo hidrológico distribuido WiMMed. Con la ayuda del mismo se procedió en primer lugar a traducir los ficheros, de modo que se genera un fichero para cada una de las variables en cada una de las estaciones. Tras esto se realizó un análisis de correlación para comprobar la calidad de los datos disponibles. Así, comparando los datos de una misma variable medida en las distintas estaciones que se han seleccionado es posible detectar aquellas estaciones cuyos datos medidos para dicha variable son distantes de los datos medidos en la mayoría, en cuyo caso se eliminan. Sin embargo, ello no implica que esa estación no presente una buena correlación con el resto en la medida de otras variables; por ello el análisis de correlación se hace variable a variable.

En el análisis de correlación, el programa MeteoWiM Matlab genera una serie de gráficas y diagramas que permiten realizar un análisis rápido de la calidad de los datos y detectar las estaciones o datos incoherentes. De este modo se visualizan:

- Correlación entre variables:
 - Matriz de correlaciones: Se trata de un gráfico que permite observar de una manera intuitiva la correlación que existe entre las distintas estaciones, entendiendo por correlación a la correspondencia lineal en la evolución temporal de los valores entre las estaciones dos a dos. Los valores de correlación oscilan entre 0 y 1. El valor 0 corresponde a estaciones que no poseen correlación alguna, y el valor 1 a aquellas que tienen una correlación del 100%.
 - Tabla con el promedio del coeficiente de correlación de cada estación con cada una de las demás.
 - Gráfico con la evolución de la variable medida en cada estación.



- Diagramas de Gantt: Permiten visualizar la extensión y presencia de los datos a lo largo del tiempo, pudiendo así detectar aquellos periodos en los que no se dispone de información de la variable en la estación que se trate.

Una vez comprobada la calidad de los datos y seleccionadas las estaciones que van a usarse para cada variable se ha procedido, también con el uso de MeteoWiM Matlab, al relleno de los datos; entendiendo por relleno a la asignación de valores en huecos sin dato de un registro, basándose para ello en los datos existentes en esa u otras estaciones.

La metodología de relleno que aplica el programa consiste en un promedio ponderado en base a la correlación lineal entre los datos de las estaciones tomadas dos a dos (Egüen y Herrero, 2009).

Finalmente, tras el relleno se obtiene un único fichero que contiene los valores de una determinada variable en cada una de las estaciones. De esta manera se tienen los datos meteorológicos procesados y listos para introducirlos en el modelo WiMMed, con el que se ha realizado la interpolación espacial.

3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Los resultados ponen de manifiesto la existencia de una muy buena correlación entre los datos medidos de cada variable en las 3 estaciones seleccionadas. Esto es debido a que se trata de un número reducido de estaciones muy cercanas entre sí y con elevaciones similares. Por ello, las 3 estaciones seleccionadas en principio, se han incluido en el estudio para todas las variables.

- PRECIPITACIÓN

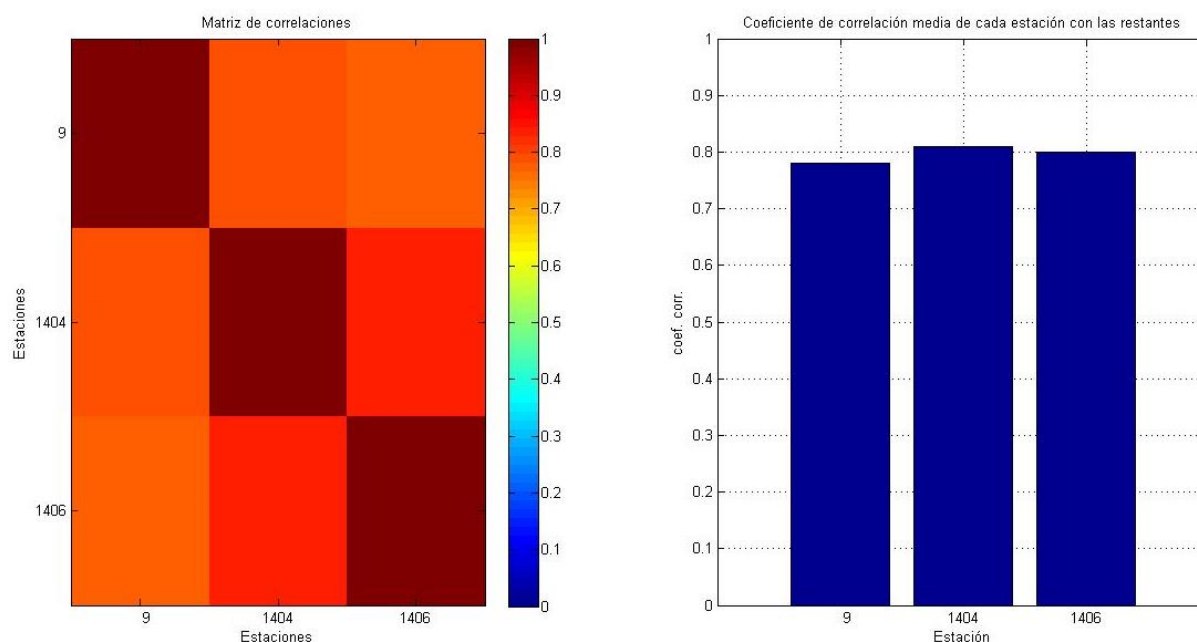


Figura 2. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable precipitación diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

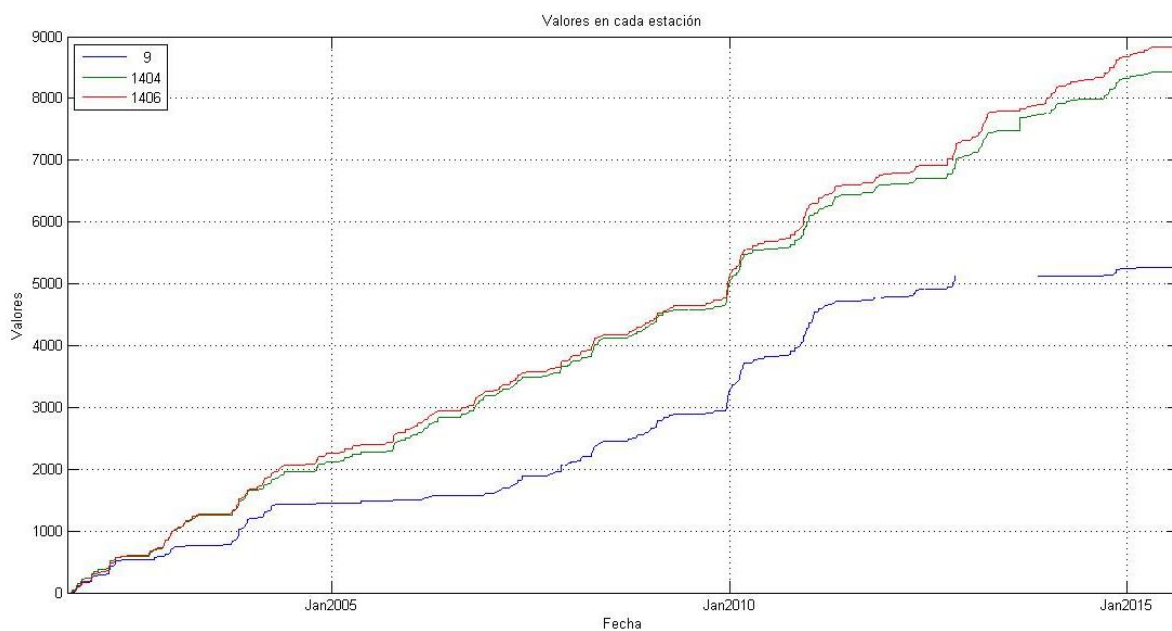


Figura 3. Precipitación diaria acumulada durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

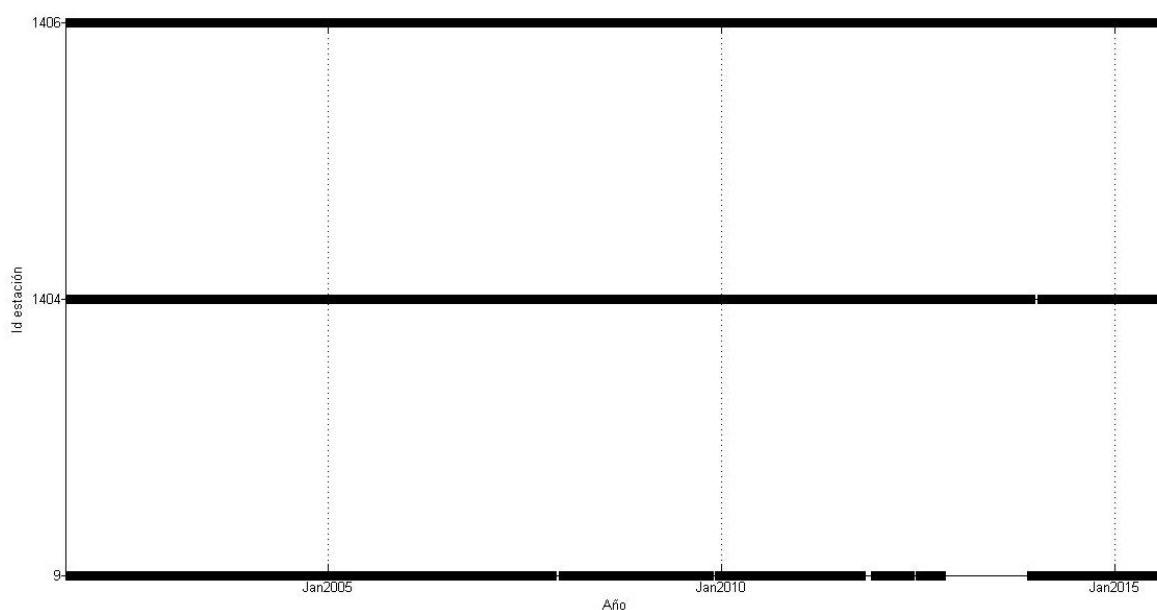


Figura 4. Diagrama de Gantt de la variable precipitación diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 para las 3 estaciones seleccionadas.

- TEMPERATURA

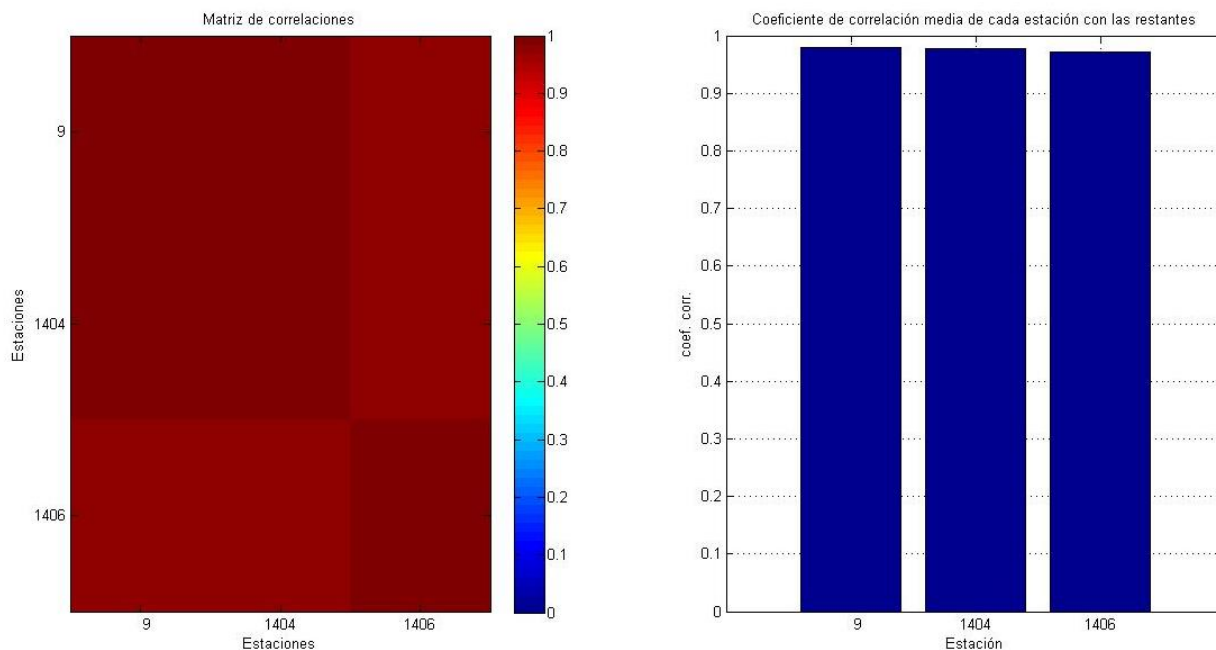


Figura 5. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable temperatura mínima diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015.

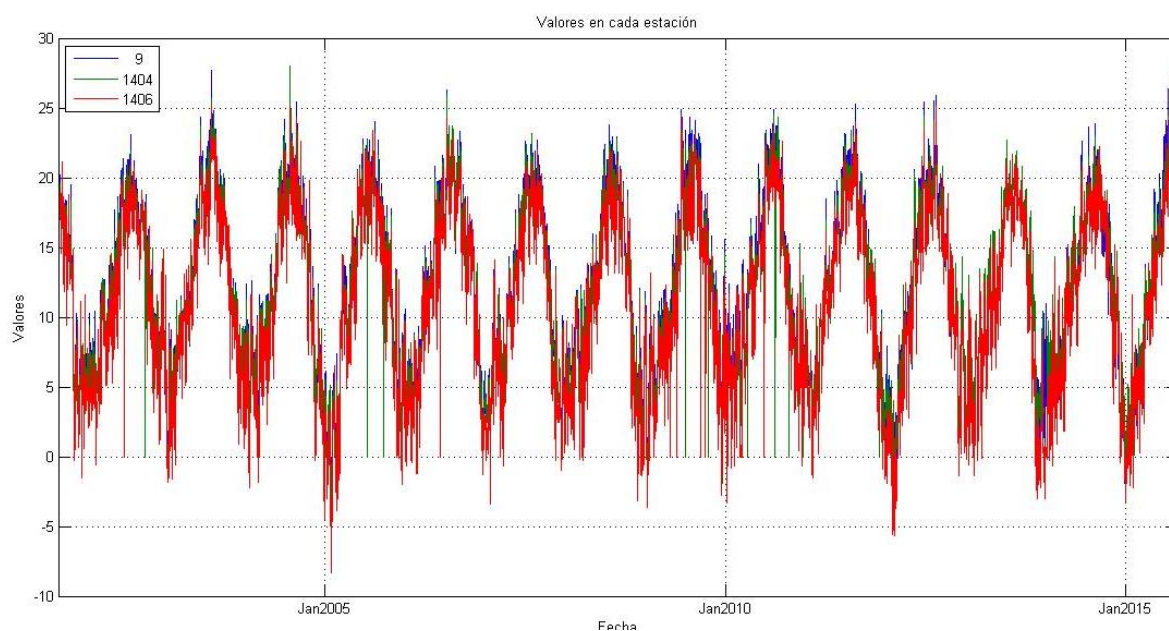


Figura 6. Valores de temperatura mínima diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

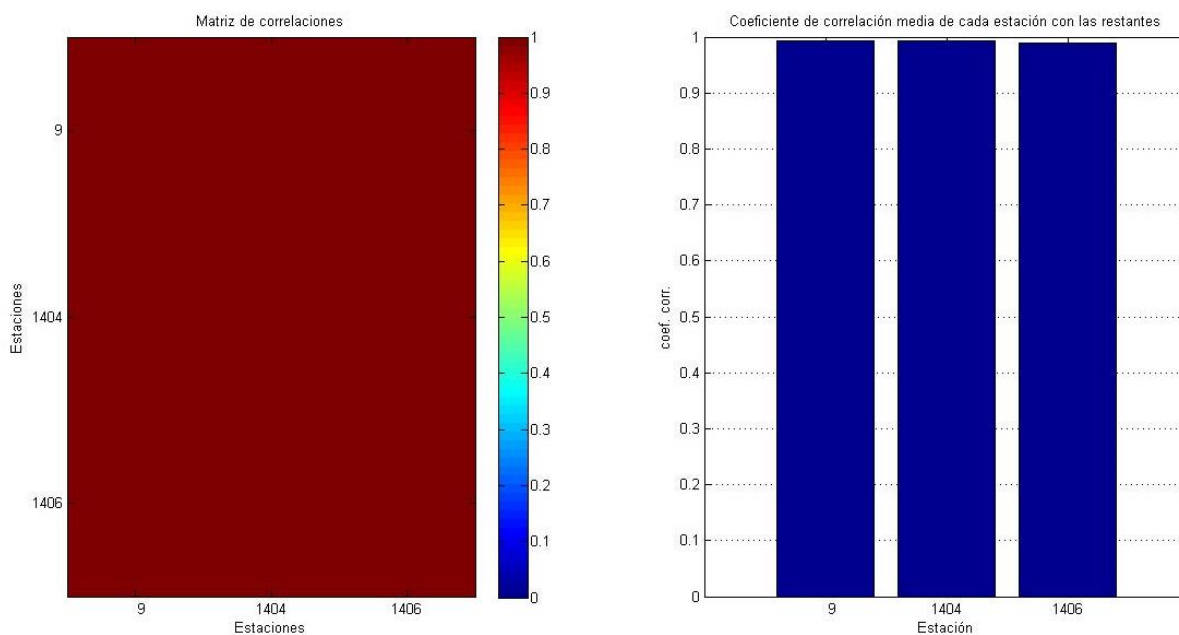


Figura 7. Matriz de correlaciones y coeficiente de correlación medio para la variable temperatura media diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

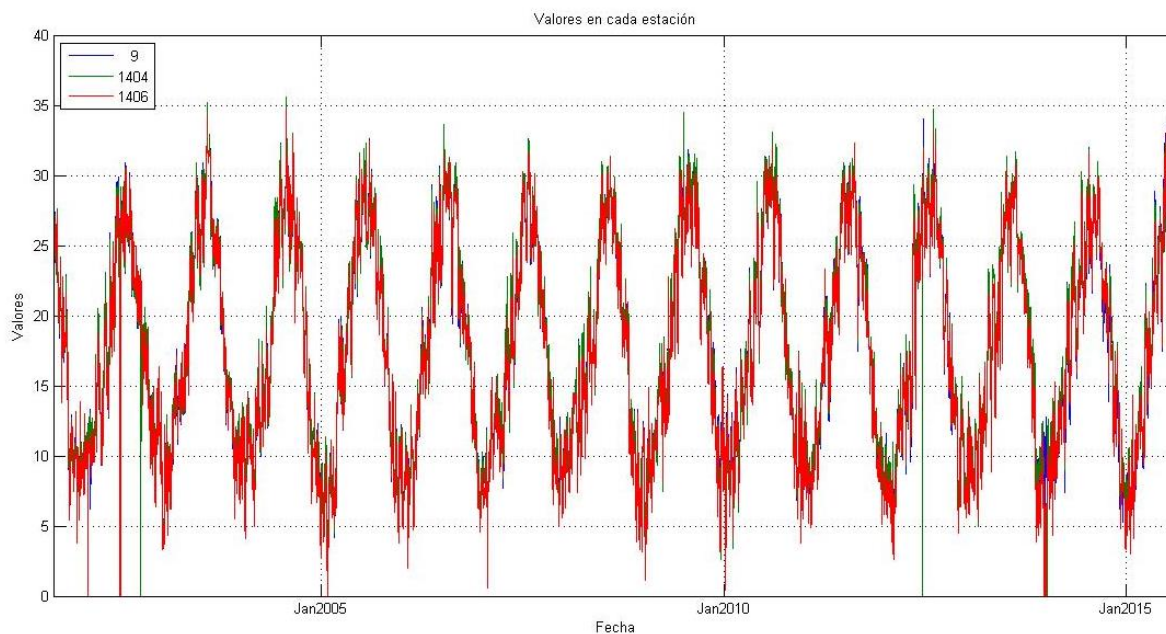


Figura 8. Valores de temperatura media diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

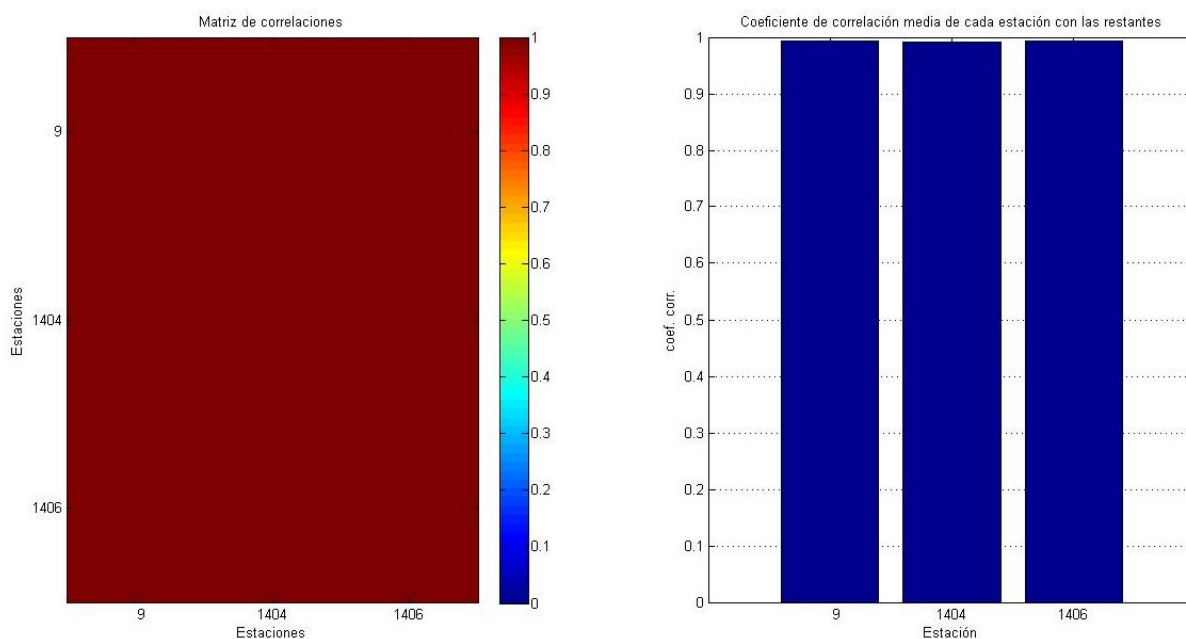


Figura 9. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable temperatura máxima diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

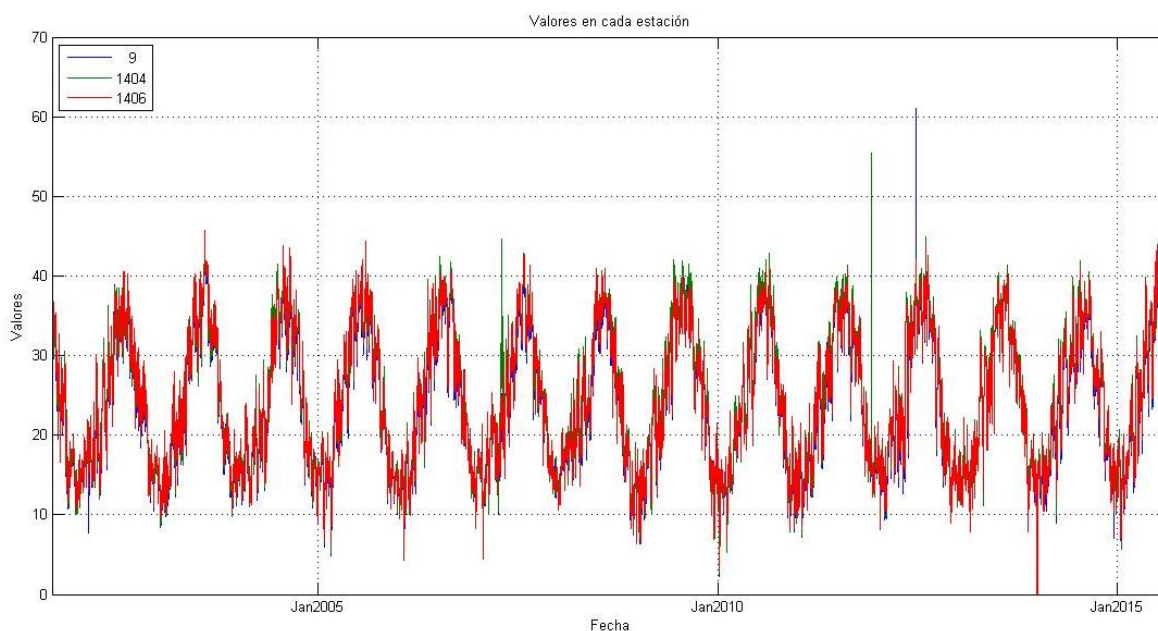


Figura 10. Valores de temperatura máxima diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

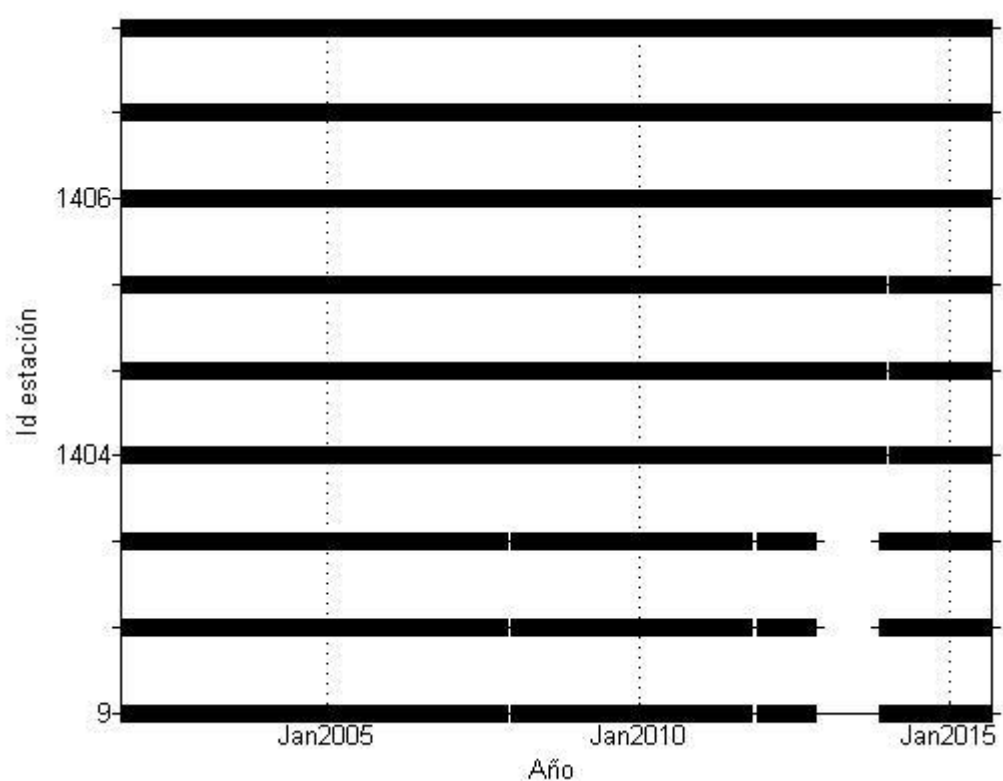


Figura 11. Diagrama de Gantt de temperatura diaria (mínima, media y máxima) durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 para las 3 estaciones seleccionadas.

- RADIACIÓN SOLAR

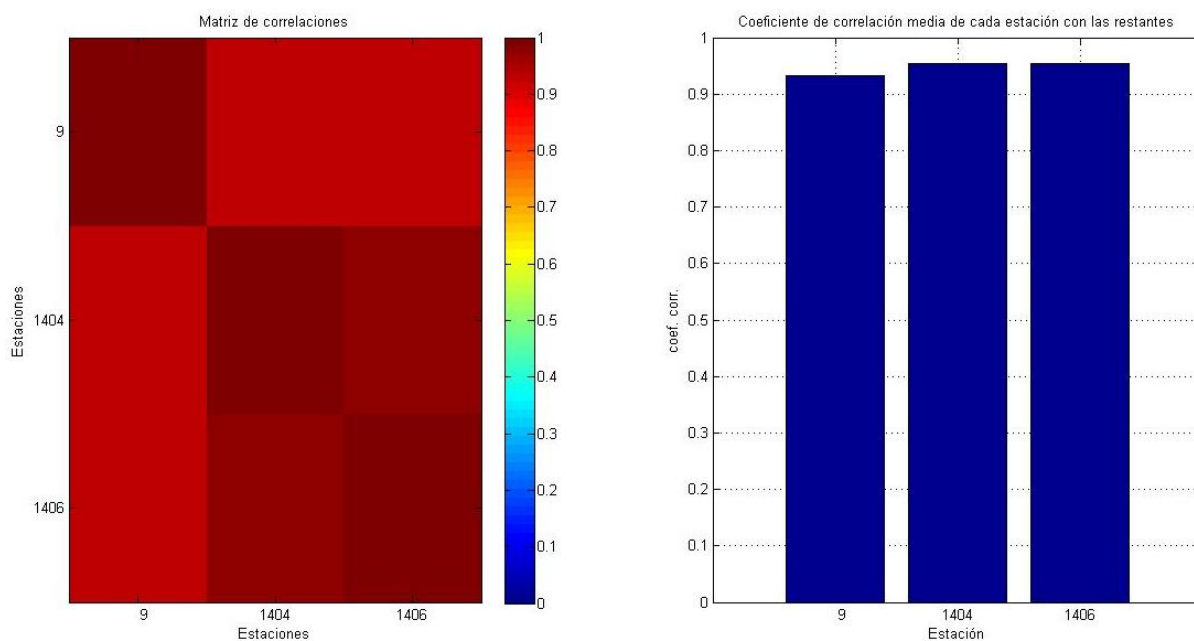


Figura 12. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable radiación solar diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

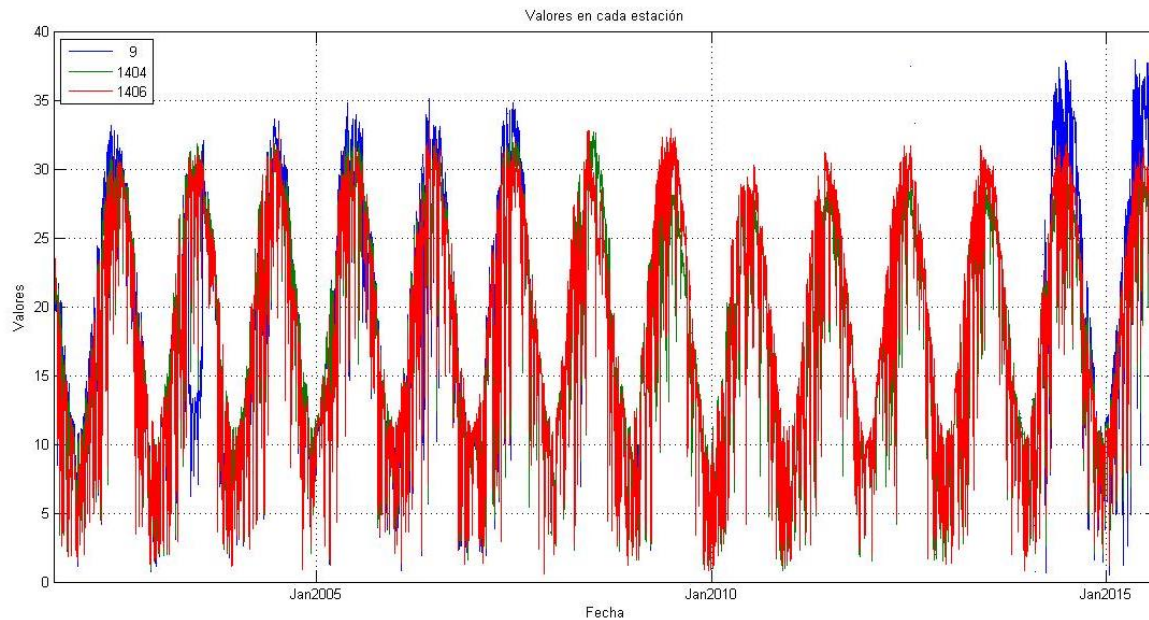


Figura 13. Valores de radiación solar diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 para las 3 estaciones seleccionadas.

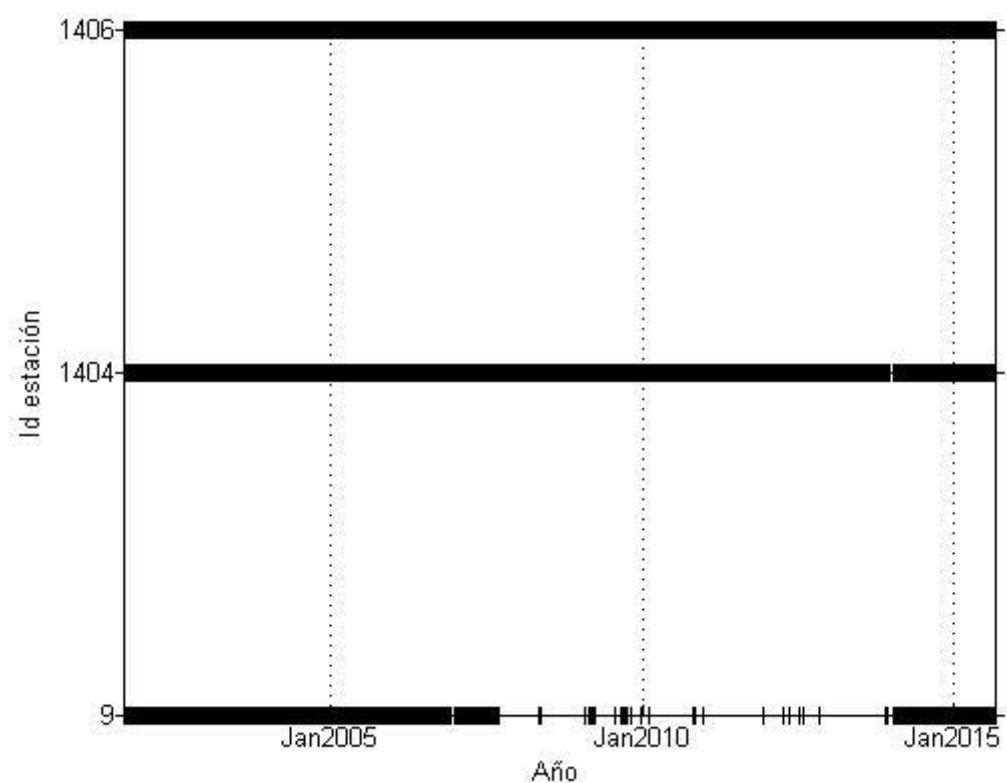


Figura 14. Diagrama de Gantt para la variable radiación solar diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

• VELOCIDAD DEL VIENTO

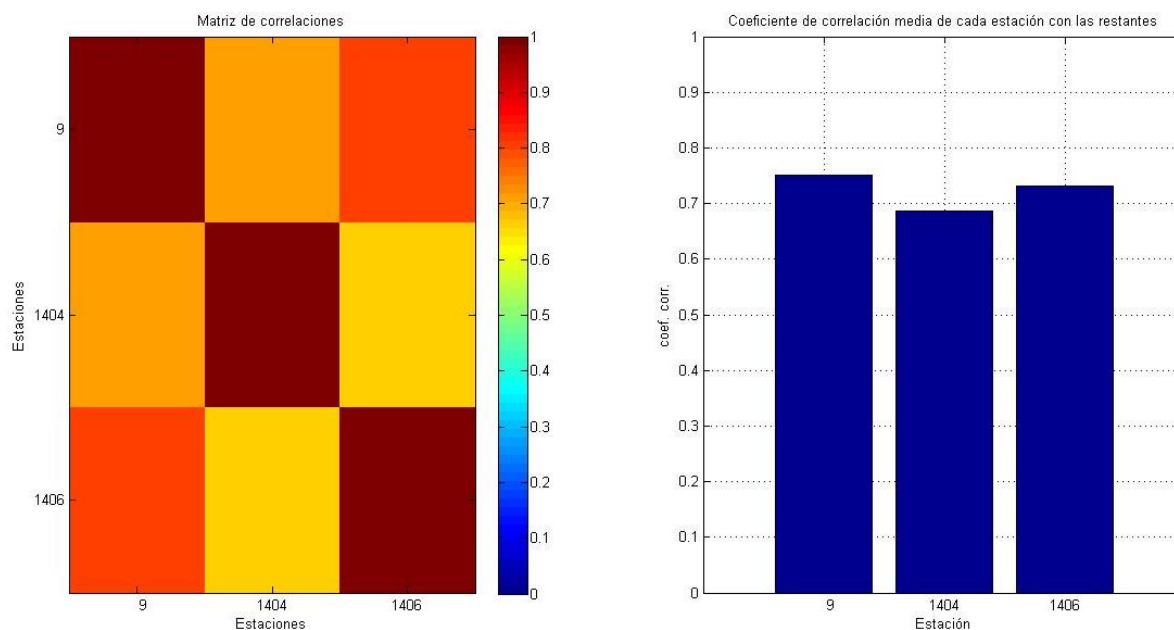


Figura 15. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable velocidad del viento diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

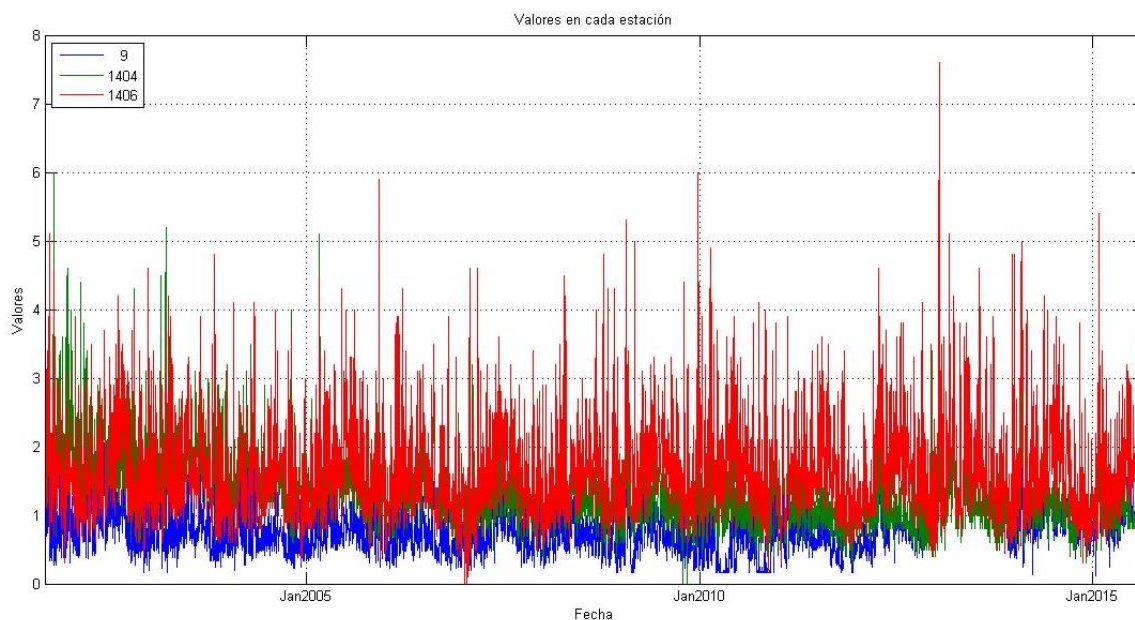


Figura 16. Valores de velocidad del viento diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

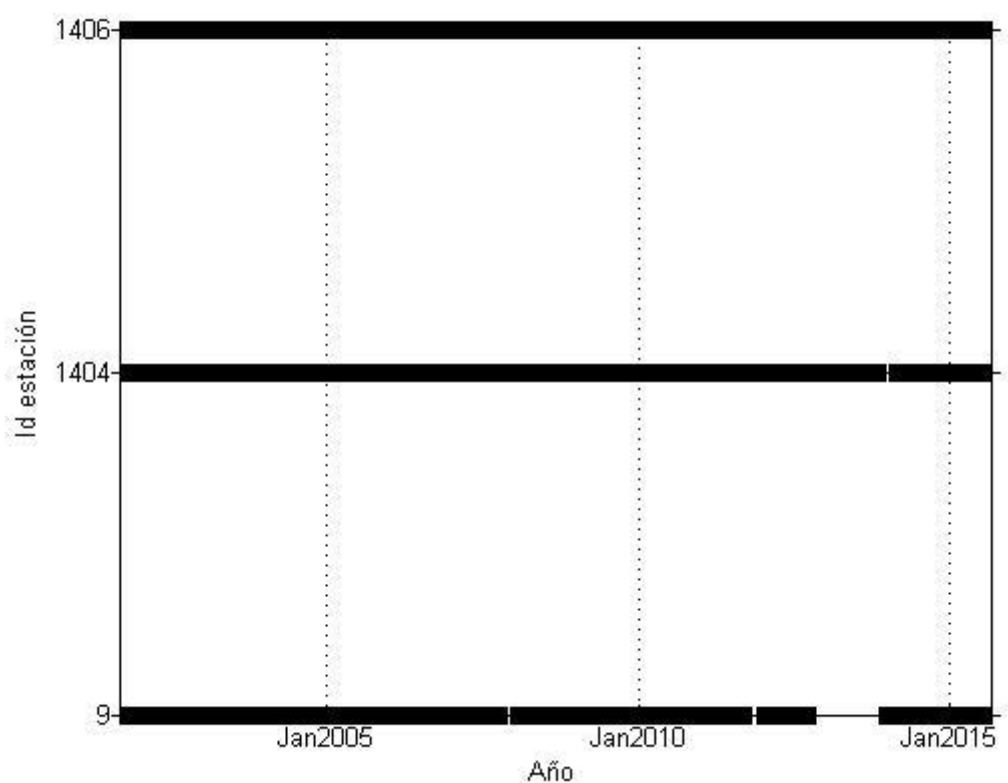


Figura 17. Diagrama de Gantt para la variable velocidad del viento diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 para las 3 estaciones seleccionadas.

- PRESIÓN DE VAPOR

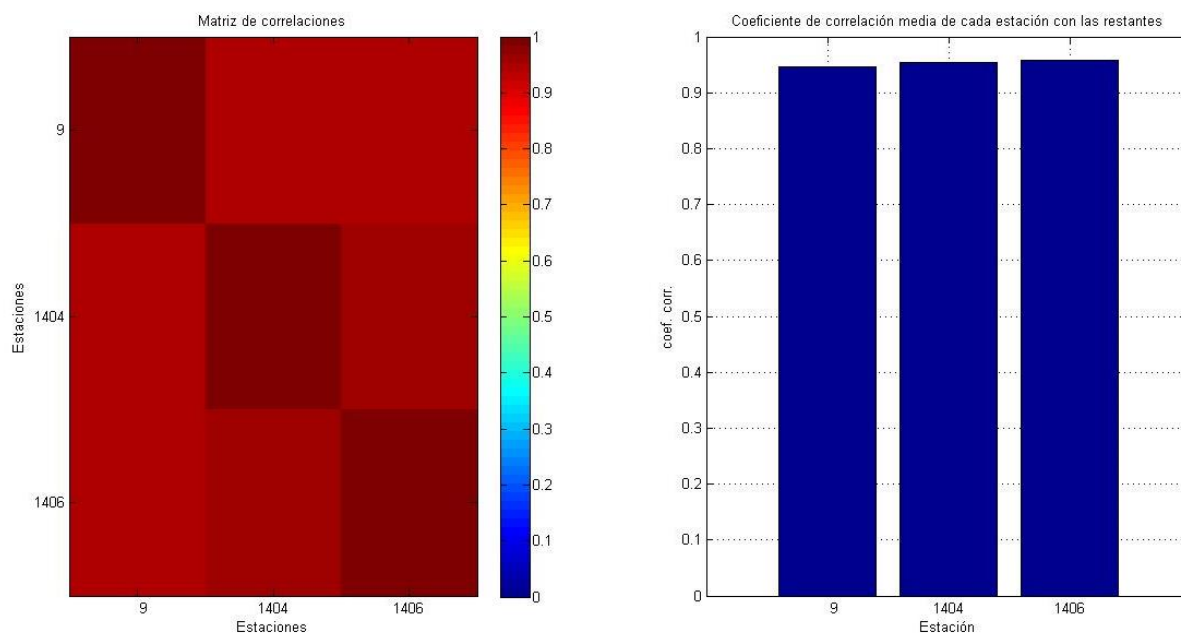


Figura 18. Matriz de correlaciones y valores del coeficiente de correlación medio para la variable presión de vapor diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

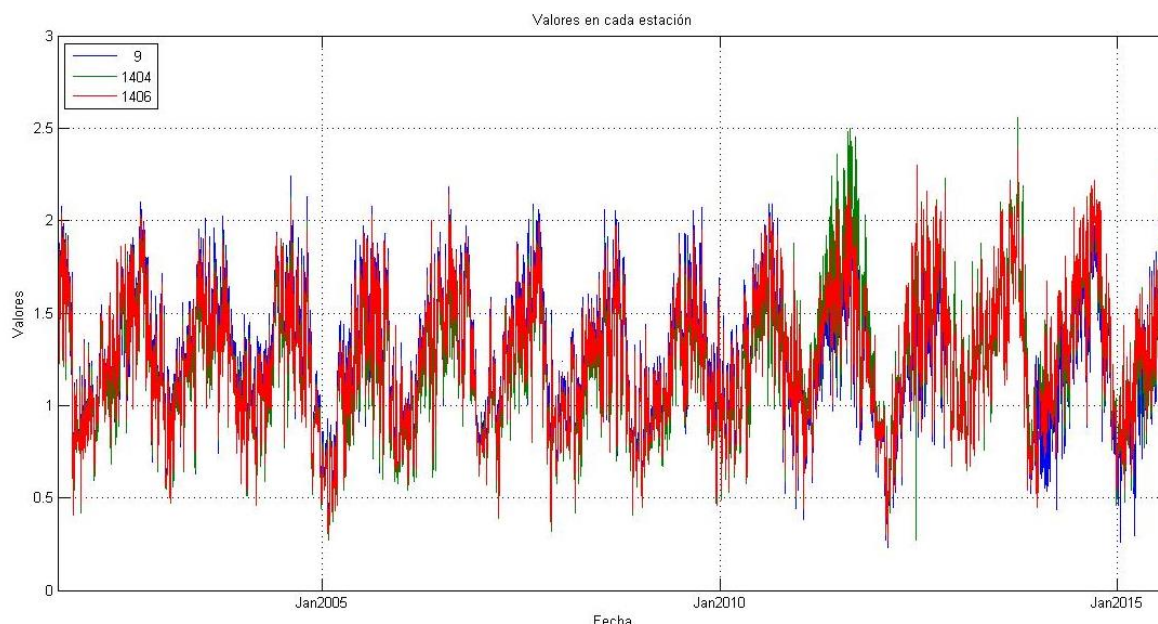


Figura 19. Valores de presión de vapor diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.

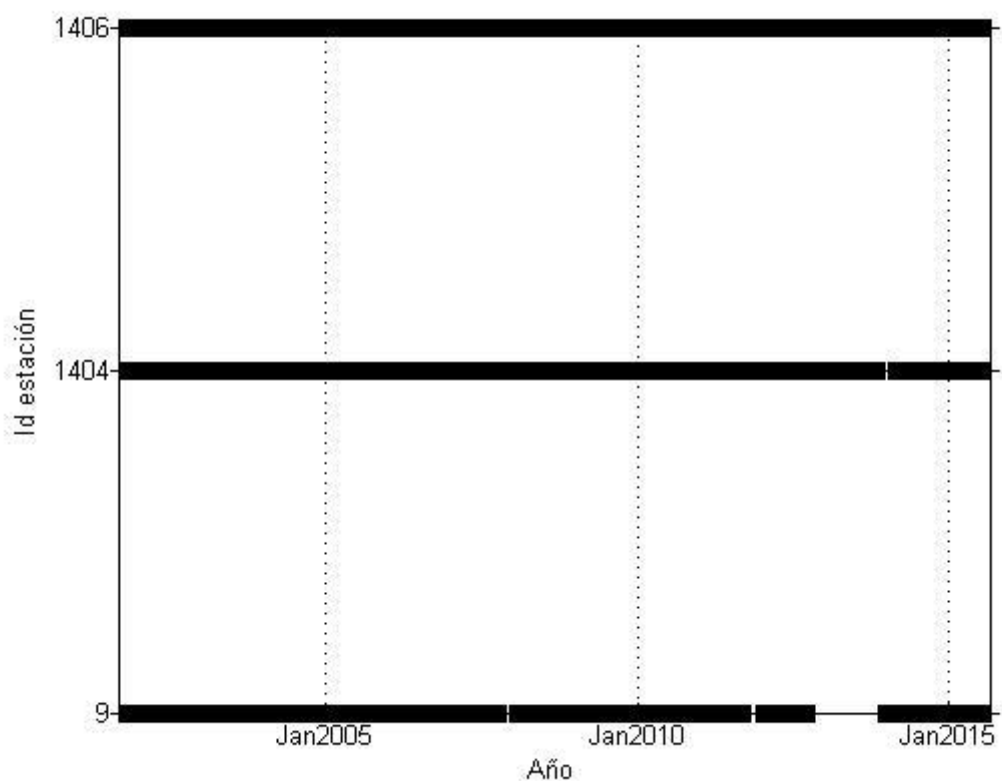


Figura 20. Diagrama de Gantt para la variable presión de vapor diaria durante el periodo 01/09/2001 al 31/08/2015 en las 3 estaciones seleccionadas.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome.

Egüen, M., Herrero, J. 2009. Manual de MeteoWiM para MatLab. Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología. (<http://www.cuencaguadalfeo.com/archivos/WiMMed%20-%201.0%20Base%20Teorica.pdf>).

Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., y Riley, J.P. 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin. J. Irrigation and Drainage Engr., ASCE 111:113-124.



ANEJO 5

**Fotografías de las instalaciones de la planta de compostaje y
su entorno**



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parte inferior del cauce innominado en el que puede apreciarse la cárcava	156
Figura 2. Parte superior en la que el cauce innominado ha desaparecido y sólo puede apreciarse una vaguada.....	156
Figura 3. Inicio de la cárcava actual.....	157
Figura 4. Cerro en el que delimita la cuenca del cauce innominado	157
Figura 5. Piscina de lixiviados 1	158
Figura 6. Balsa 1 (donde actualmente se encuentran los trojes).....	158
Figura 7. Entrada a la balsa 1.....	159
Figura 8. Balsa de lixiviados 2	159
Figura 9. Balsa de lixiviados 2	160
Figura 10. Era/plataforma 2 (donde actualmente se encuentran las pilas).....	160
Figura 11. Era /plataforma 2.....	161
Figura 12. Nave donde se almacena el compost elaborado previamente a su salida al mercado.....	161



EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN LA PRODUCCIÓN DE COMPOST ORGÁNICO A PARTIR DE
ALPERUJO EN EL T.M. DE GUADALCÁZAR (CÓRDOBA)

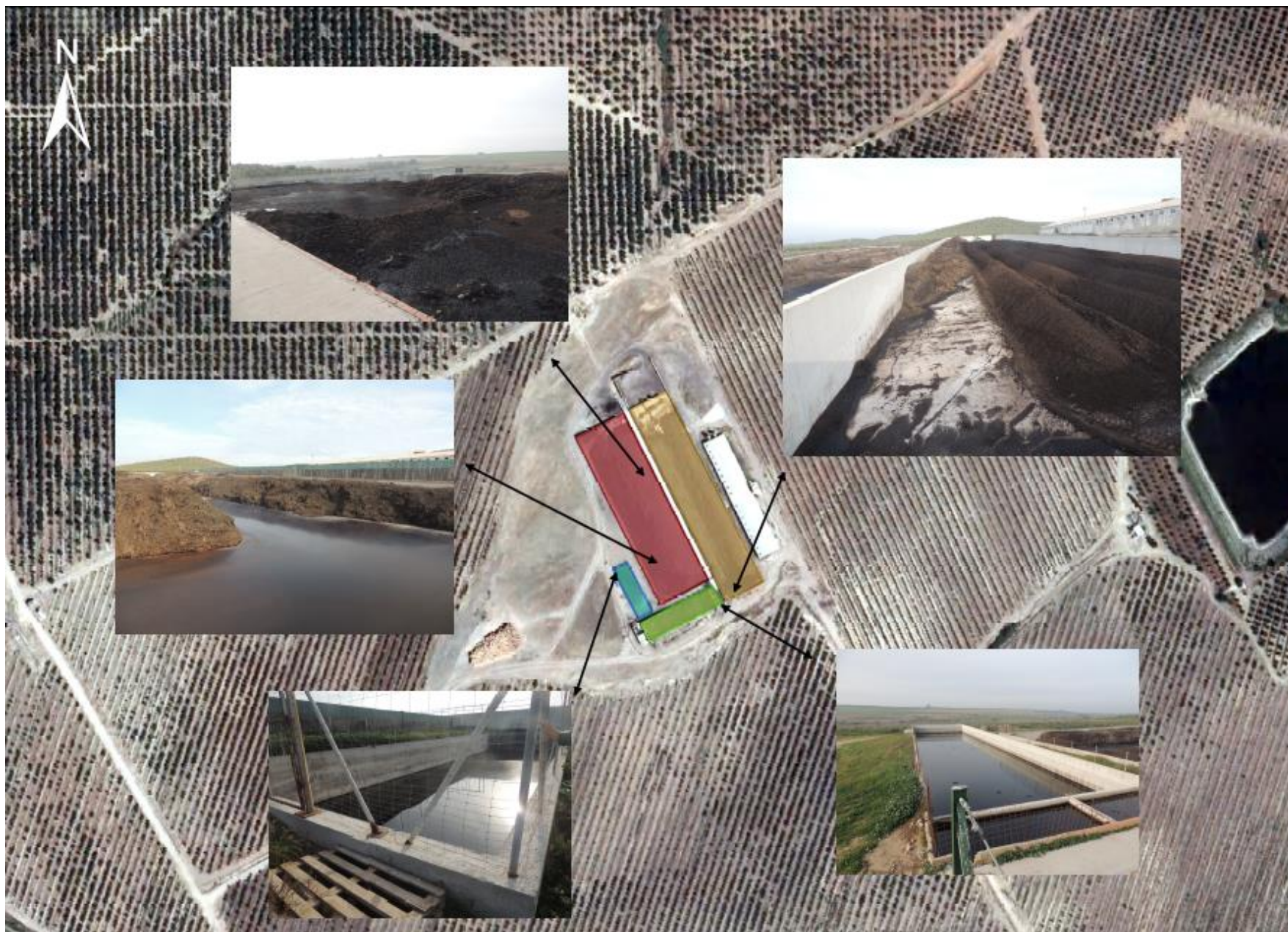




Figura 1. Parte inferior del cauce innominado en el que puede apreciarse la cárcava



Figura 2. Parte superior en la que el cauce innominado ha desaparecido y sólo puede apreciarse una vaguada.



Figura 3. Inicio de la cárcava actual



Figura 4. Cerro en el que delimita la cuenca del cauce innominado



Figura 5. Piscina de lixiviados 1



Figura 6. Era / plataforma 1 (donde actualmente se encuentran los trojes)



Figura 7. Entrada a la era/plataforma 1



Figura 8. Balsa de lixiviados 2



Figura 9. Balsa de lixiviados 2



Figura 10. Era/plataforma 2 (donde actualmente se encuentran las pilas)



Figura 11. Era /plataforma 2



Figura 12. Nave donde se almacena el compost elaborado previamente a su salida al mercado